

碳中和背景下我国重污染行业碳排放效率的溢出效应研究

杨友才 牛晓童

摘要: 提高重污染行业碳排放效率是实现我国碳中和战略的重要举措之一。研究发现:我国重污染行业的碳排放效率值整体较低,呈波动上升的趋势;重污染行业间的碳排放效率均表现为正向溢出效应,其中电力、热力、燃气及水生产和供应业的溢出效应最大,采矿业次之,制造业最小,这为提升我国重污染行业的碳排放效率提供了较为清晰的路径图;政府支持对我国重污染行业碳排放效率的溢出效应存在异质性,不同行业的溢出效应不同,仅有制造业表现为正向溢出效应,采矿业和电力、热力、燃气及水生产和供应业表现为负向溢出效应。因此,政府应充分发挥制造业正向溢出效应,降低其他行业负向溢出效应,提升我国重污染行业的碳排放效率。

关键词: 重污染行业;碳排放效率;超效率 SBM 模型;溢出效应;GVAR 模型

DOI: 10.19836/j.cnki.37-1100/c.2022.05.0015

一、引言

2022年1月17日,习近平主席在世界经济论坛视频会议上指出:实现碳达峰、碳中和是中国高质量发展的内在要求,也是中国对国际社会的庄严承诺。中国将践信守诺、坚定推进2030年前碳达峰行动方案,2060年前实现碳中和的国家目标。“碳中和”就是要实现碳排放和碳吸收的平衡。从碳吸收来看,草原、湿地、灌丛和森林等生态系统是吸收和固定碳的主要来源,尤其是森林系统固碳量可达到80%以上。相对于生态系统有限碳吸收能力而言,实现碳中和的目标主要是解决碳排放问题。实现“碳中和”并非意味着要减少生产总量、降低经济增长速度,而是要在保持我国经济中高速增长的基础上,通过提高碳排放技术创新来实现。这是因为技术能从根本上解决碳排放问题,尤其是提高碳排放效率。我国碳达峰和碳中和“3060”战略目标的实现一定伴随碳排放效率不断提升,从而形成了碳排放和碳汇之间的平衡。当然,为了尽快提高各行各业的碳排放的效率,一种办法是政府和企业投入大量的研发资金进行技术创新,但这会给国家财政和企业经营造成很大的资金压力;另一种办法是先提高某一行业的碳排放技术,通过产业间相互关联的技术溢出效应,从而提高整个行业的碳排放效率,有效解决占有大量资金的问题。

重污染行业是我国经济体系中的支柱性产业,其产生的经济效益推动了我国经济的发展,但由于其高能耗、高污染的特性已成为我国环境污染和碳排放的主要来源。改进重污染行业碳排放技术能从根本上有效缓解能源消耗过多等问题,在减少污染排放的同时提高碳排放效率。政府对该行业研发的支持也在一定程度上能够提高其技术创新水平,推动碳排放效率的提升。但同时有学者认为政府

基金项目: 国家社科基金一般项目“网络时代背景下社会资本影响经济增长的模型构建与实证研究”(20BJL024)。

作者简介: 杨友才,青岛科技大学经济与管理学院教授,博士生导师(青岛 266061; yangyoucai@pku.edu.cn);牛晓童(通讯作者),青岛科技大学经济与管理学院博士研究生(青岛 266061; xiaotong_niu@163.com)。

支持对技术创新存在“挤出效应”,该效应是否也会在行业间传播或溢出?研究碳排放效率在行业间的正向溢出效应可以从整体上实现先进技术在行业间传播,推动各个行业碳排放效率的提升,降低行业二氧化碳排放量,改善我国环境质量,实现绿色低碳可持续发展。

本文基于碳中和背景对我国重污染行业间碳排放效率的溢出效应进行研究,边际贡献有以下三点:其一,近年来有关碳排放效率展开研究的文献逐年增多,但多集中在对该效率的测算和影响因素分析中,构建基于非期望产出的超效率 SBM 模型,将 CO₂ 排放量作为非期望产出,专利申请数和新产品的销售收入作为期望产出,更为准确地测算出 1998-2019 年我国重污染行业包含绿色技术提高的碳排放效率。其二,目前文献中对溢出效应的研究侧重在空间层面,多为单一整体性空间溢出效应,很少有考虑行业层面上的溢出效应。本文选取重污染行业作为研究对象,利用行业间投入产出关联矩阵,采用全局向量自回归(GVAR)模型研究行业间碳排放效率的溢出效应。GVAR 模型不仅可以准确地抓住行业间的相关关系,还能研究行业间相互溢出效应的大小和方向,充分展示行业间的联系和依赖性,这为提升我国重污染行业的碳排放效率提供了一个较为清晰的路径图。其三,基于政府支持这一外生视角,分析政府对重污染行业中某一行业提供研发资金支持时,其他行业碳排放效率溢出效应的异同。这对政府完善相关政策,实现政府财政支出的效用最大化及早日全面实现“青山绿水”的宜居环境提供了合理的依据。

二、文献综述

碳排放效率近年来受到越来越多学者的重视,但目前学术界对该效率还未得到统一定义。Mielnik 等人提出碳指数,定义为消耗单位能源的碳排放量^①。若仅从单要素测算无法全面准确地反映效率值,一些学者基于多种要素对碳排放效率进行测算,其结果也更为准确^②。随机前沿分析法(SFA)和数据包络分析法(DEA)是测算该效率的主要方法,其中 SFA 是基于生产性函数的测算方法。余敦涌等人利用随机前沿数据模型测算我国 30 个省份 2006 年和 2011 年的碳排放效率,结果显示该效率值在我国区域间存在较大差距^③。数据包络分析法则利用线性规划模型形成的一种数量分析方法,可以规避随机前沿分析法中因模型设定不准确导致研究结果有误差的弊端^④。碳排放效率的研究视角多集中在行业层面和区域层面^⑤,国内外学者对工业^⑥、旅游业等行业的碳排放效率均有研究,从行业视角分析碳排放效率可以为该行业更好地发展指出建议。另一部分学者针对区域间的碳排放效率进行测算,Yao 等人研究发现,由于中国地区间经济发展水平与能源结构不同,因此碳排放效率存在显著的空间异质性^⑦。大多学者研究认为,碳排放效率的主要影响因素是技术进步、

① Mielnik O,Goldemberg J.,“Communication the Evolution of the ‘Carbonization index’ In Developing Countries”,*Energy Policy*, 1999,27(5), pp.307-308.

② Ramanathan R.,“Combining Indicators of Energy Consumption and CO₂ Emissions: Across Country Comparison”,*International Journal of Global Energy Issues*, 2002,17, pp.214-227.

③ 余敦涌、张雪花、刘文莹:《基于随机前沿分析方法的碳排放效率分析》,《中国人口·资源与环境》2015 年第 S2 期。

④ Zhou Y,Liu W,Lv X,Chen X,Shen M.,“Investigating Interior Driving Factors and Cross-industrial Linkages of Carbon Emission Efficiency in China’s Construction Industry: Based on Super-sbm DEA and GVAR Model”,*Journal of Cleaner Production*,2019, 241(Dec.20), pp.118322.1-118322.13.

⑤ 李治国、杨雅涵、赵园春:《地方政府竞争促进了地区排放强度吗?》,《经济与管理评论》2022 年第 2 期。

⑥ 郝永勤、吉星:《我国工业行业碳排放效率实证研究——考虑非期望产出 SBM 超效率模型与 DEA 视窗方法的应用》,《科技管理研究》2019 年第 39 期。

⑦ Yao X,Zhou H,Zhang A,Li A.,“Regional Energy Efficiency, Carbon Emission Performance and Technology Gaps in China: A Meta-frontier Non-radial Directional Distance Function Analysis”,*Energy Policy*,2015,84(sep), pp.142-154.

结构调整等,技术进步可以推动清洁生产,降低 CO₂ 的排放量,最终实现碳排放效率的提升。Zhou 等人发现在建筑行业中,技术进步和合理的能源结构对提高碳排放效率具有积极的影响^①。

溢出效应是指进行某项活动后不仅为自身带来预期的结果,还对除预期外其他主体产生的影响,这种影响既可以是正向的,也可以是负向的,主要包括技术溢出效应、经济溢出效应等。Arrow 在 1962 年建立了溢出效应模型来分析经济增长的原因^②。因为研究溢出效应能够加强地区间或行业间的协同效应,提高效率水平,所以越来越多的学者对其影响因素及效果展开研究。经济水平、空间距离等是溢出效应的主要影响因素,大多研究指出经济发展越好的地区,其溢出效应越强^③,同时相邻地区存在较多相似之处,因此空间距离同样会影响溢出效应。除上述影响因素外,政府支持也是影响溢出效应的主要因素,政府支持对企业技术创新的影响分为促进^④和抑制^⑤两种。促进观点认为,政府通过制定行业中开展创新相关的优惠政策来刺激企业创新,对实施创新活动的企业提供资金支持以减轻企业在研发支出中遇到的资金短缺等问题,提高企业的风险承受能力及研发动力^⑥;抑制效应的观点则认为企业由于依赖政府的支持减少了自己的研发投入,挤占原本的研发经费,而且由于政府研发投入不及时,延误了研发进程,削弱了企业的积极性。同时当缺乏第三方监管时,政府补贴不一定能被企业完全利用在创新研发中,以上这些因素都导致政府的直接和间接支持不利于企业技术创新水平的提升^⑦。有关政府支持对碳排放效率的溢出效应研究较少。因此本文研究我国重污染行业间碳排放效率的溢出效应,并考虑政府支持对该效率溢出效应的影响。

三、我国重污染行业碳排放效率测算

(一)超效率 SBM 模型

传统的数据包络分析法是径向的,将投入指标与产出指标按比例计算求得效率,会存在因为没有考虑到松弛情况而导致的结果偏误。Tone 于 2002 年对该模型进行改进,提出超效率 SBM 模型^⑧,该模型不仅考虑了非期望产出,还可以测得每个决策单元的效率值。本文采用超效率 SBM 模型对我国重污染行业的碳排放效率进行测算,每个决策单元由投入指标 m 、期望产出指标 s_1 和非期望产出指标 s_2 组成。其向量形式分别为 $x \in R^m, y^g \in R^{s_1}, y^b \in R^{s_2}$; X, Y^g 和 Y^b 三个矩阵的定义分别为: $X = [x_1, \dots, x_n] \in R^{m \times n}, Y^g = [y_1^g, \dots, y_n^g] \in R^{s_1 \times n}$ 和 $Y^b = [y_1^b, \dots, y_n^b] \in R^{s_2 \times n}$, 假设这些数据都为正,则超效率 SBM 模型为:

-
- ① Zhou D, Zhang X, Wang X: "Research on Coupling Degree and Coupling Path between China's Carbon Emission Efficiency and Industrial Structure Upgrading Environ", *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27 (20), pp.25149-25162.
- ② Arrow k., "The Economic Implication of Learning-by-doing", *Review of Economic Studies*, 1962, 29(3), pp.155-163.
- ③ 何洁:《外国直接投资对中国工业部门外溢效应的进一步精确量化》,《世界经济》2000 年第 12 期。
- ④ 杨浩昌、李廉水:《政府支持与中国高技术产业研发效率》,《科学学研究》2019 年第 1 期。
- ⑤ 白俊红、江可申、李婧:《应用随机前沿模型评测中国区域研发创新效率》,《管理世界》2009 年第 10 期。
- ⑥ Kang K N, Park H., "Influence of Government R&D Support and Inter-firm Collaborations on Innovation in Korean Biotechnology SMEs", *Technovation*, 2012, 32(1), pp.68-78.
- ⑦ 肖文、林高榜:《政府支持、研发管理与技术创新效率——基于中国工业行业的实证分析》,《管理世界》2014 年第 4 期。
- ⑧ Kaoru Tone., "A Slacks-based Measure of Super-efficiency in Data Envelopment Analysis", *European Journal of Operational Research*, 2002, 143(1), pp.32-41.

$$\rho^* = \min \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{\bar{x}_i}{x_{io}}}{\frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{\bar{y}_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{\bar{y}_r^b}{y_{r0}^b} \right)}, s.t. \begin{cases} \bar{x} \geq \sum_{j=1, \neq k}^n \theta_j x_j \\ \bar{y}^g \leq \sum_{j=1, \neq k}^n \theta_j x_j^g \\ \bar{y}^b \geq \sum_{j=1, \neq k}^n \theta_j y_j^b \\ \bar{x} \geq x_0, \bar{y}^g \leq y_0^g, \bar{y}^b \geq y_0^b, \bar{y}^g \geq 0, \theta \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

在公式(1)中: ρ^* 是决策单元的效率值,其大小可以超过 1, s 表示投入与产出的松弛量。

(二)样本选择及数据来源

以 1998-2019 年我国重污染行业作为研究样本。选择 3 个投入指标、2 个期望产出指标和 1 个非期望产出指标来测算碳排放效率,具体见表 1。其中非期望产出为二氧化碳排放量^①,参考陈诗一^②的研究,以煤炭、石油和天然气三种消耗量较大的能源作为基准,利用 IPCC 提出的因素分解法测算 CO_2 排放量,公式如下:

$$CO_2 = \sum_{i=1}^3 CO_{2,i}, i = \sum_{i=1}^3 E_i \times NCV_i \times CEF_i \times COF_i \times \frac{44}{12} \quad (2)$$

在公式(2)中, $i=1,2,3$ 分别代表三种一次能源, E 代表其消耗量, NCV 是三种一次能源的平均低位发热量, CEF 是碳排放系数, COF 是碳氧化因子, $\frac{44}{12}$ 表示碳转化为 CO_2 的换算系数。本文的数据来源为《中国科技统计年鉴》和《中国能源统计年鉴》。

表 1 我国重污染行业碳排放效率评价指标

一级指标	二级指标	三级指标	单位
投入指标	人力投入	R&D 人员数量	人
	资本投入	R&D 内部经费	亿元
	能源投入	能源消费总量	万吨标准煤
产出指标	期望产出	新产品销售收入	亿元
		专利申请数	件
	非期望产出	二氧化碳排放量	万吨

(三)我国重污染行业碳排放效率测算

如图 1 所示,我国重污染行业整体碳排放效率均值的范围是 0.126-0.687,虽然总体来看效率值较低且波动幅度较大,但呈现出上升的趋势。其中,2000 年我国重污染行业整体的效率均值最低,仅为 0.126,之后该效率均值稳步上涨,碳排放效率在此期间提高的主要原因是,随着 2001 年《国家环境保护“十五”计划》出台,国家加大对污染的治理力度,淘汰掉企业的旧设备及落后的生产技术,同时加速在重污染行业中开展技术创新研发,由此重污染企业的基础设施得以更新升级,技术水平也有所提升。2009 年起重污染行业整体碳排放效率相较于之前的增速有所提升,这是由于 2006 年以来,我国政府制定财税、金融、人才等一系列政策全面推动企业进行自主创新,在这些政策的支持下,我国重污染企业的技术创新水平有了质的飞跃,碳排放效率均值也于 2014 年达到研

① 陈晓兰、孟庆港、史佳凝、沈万芳:《中国八大综合经济区生态效率测度及时空演进分析》,《经济与管理评论》2022 年第 2 期。

② 陈诗一:《能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展》,《经济研究》2009 年第 4 期。

究期间内的小高峰,为 0.555。2015 年效率值降低至 0.440,随后效率值持续上涨,并于 2019 年上升至 0.687。

重污染行业的碳排放效率在行业间存在较大差异。在我国重污染行业中碳效率均值前三名的行业分别为电力、热力生产和供应业、石油加工、炼焦和核燃料加工业和皮革、毛皮、羽毛(绒)及其制品业。其中电力、热力生产和供应业碳排放效率均值最高,在 2019 年该效率值高达 1.234,远超过重污染行业碳排放效率均值。这是由于近年来随着相关政策的出台,该行业不断开展技术创新和研发,进而提升了碳排放效率。重污染中采矿业的碳排放效率值远低于行业平均水平,其中有色金属矿采选业的碳排放效率值最低,该行业的生产活动多为煤炭的开采和洗选等,能源消耗量较大且排污量大,该行业在 2010 年以前效率均值低意味着在此期间进行开采时未做好环保方面的管理,但随着行业内部的改善及技术的进步,自 2010 年后效率值有所提升,说明该行业越来越重视绿色开采。

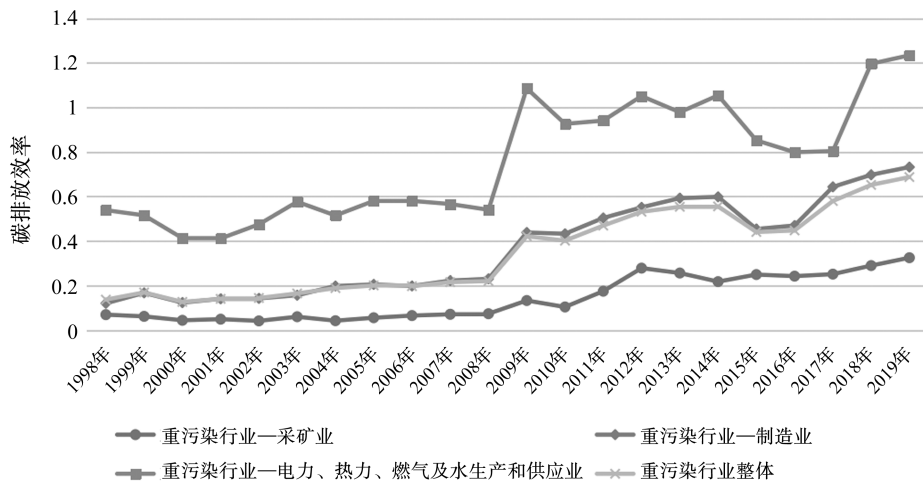


图 1 1998-2019 年我国重污染行业碳排放效率均值变动趋势

在我国 16 个重污染行业中碳排放效率均值小于 0.4 的行业共 11 个,占比 68.75%。效率均值范围在 0.4-0.7 间的行业共 4 个,占比 25%。效率均值大于 0.7 的行业仅有 1 个,占比 6.25%,因此在我国重污染行业中,大多行业的效率值处于低水平。

四、实证分析

基于 GVAR(Global VAR)模型,通过广义脉冲响应函数(GIRFS)研究我国重污染行业间碳排放效率的溢出效应和政府支持对重污染行业间碳排放效率的溢出效应。将我国重污染行业按照《国民经济行业分类标准》归并为 3 类,分别是重污染行业中的采矿业、制造业以及电力、热力、燃气及水生产和供应业(以下简称电热燃水业),以此分析我国重污染行业间碳排放效率的溢出效应。

(一)GVAR 模型的构建

1.模型设定

指标 GVAR 模型中的内生变量分别为碳排放效率值(ie)和政府支持(gov),其中政府支持选择重污染行业科研经费筹集中央政府资金的数额进行衡量,表达式如下:

$$X_{it} = (ie_{it}, gov_{it})' \quad (3)$$

相对应的是弱外生变量分别为碳排放效率值(ie')和政府支持(gov'),表达式如下:

$$ie'_{it} = \sum_{i=1}^n w_{ad} ie_{it}, gov'_{it} = \sum_{i=1}^n w_{ad} gov_{it} \quad (4)$$

其中, w_{ad} 为重污染行业间的关联权重矩阵。

2.重污染行业间关联权重矩阵

GVAR 模型中通过关联权重矩阵描述行业之间的联动关系,可以求出某一行业对应其他所有行业的加权平均影响,根据 2012 年投入产出流量表,利用投入产出分析法测算行业关联。行业关联度的计算公式表示如下:

$$w_{ad} = \frac{k_{ad}}{\sum_{i=1}^N k_{ad}}, (a \neq d) \tag{5}$$

其中, k_{ad} 为 a 行业对 d 行业的投入,根据此公式求得三类重污染行业的关联矩阵见表 2。

表 2 重污染行业中各行业的投入产出关联权重矩阵

分类	重污染行业中采矿业	重污染行业中制造业	重污染行业中电热燃水业
重污染行业中采矿业	0.0000	0.4956	0.8143
重污染行业中制造业	0.5233	0.0000	0.1857
重污染行业中电热燃水业	0.4767	0.5044	0.0000

3.模型检验

在运行 GVAR 模型前先进行平稳性检验,以防止伪回归。根据 WS 检验可知,原序列不平稳,经过 1 阶差分后变为平稳序列,进一步分析可知各变量之间存在显著的协整关系。由于本文研究系统内生变量的动态关系,当部分变量存在协整关系时,模型不会出现识别错误,故在 GVAR 模型中采取原序列不影响模型结果。

GVAR 模型的前提为外生变量存在弱外生性,对各个行业的外生变量进行弱外生性检验。结果如表 3 所示,我国三类重污染行业外生变量都在 5% 的显著性水平下不显著,满足弱外生性检验。

表 3 弱外生性检验

行业	F 检验	0.05 临界值	碳排放效率	政府支持
重污染行业中采矿业	$F(1,12)$	4.845	0.268	0.573
重污染行业中制造业	$F(2,6)$	5.162	0.229	0.207
重污染行业中电热燃水业	$F(1,7)$	5.760	0.452	2.942

(二)重污染行业间碳排放效率的溢出效应研究

重污染行业间碳排放效率的溢出效应是指当重污染行业中某一个行业的碳排放效率受到一单位正向冲击时,该行业自身和其他重污染行业碳排放效率因这一冲击所发生的变动。

1.采矿业碳排放效率的溢出效应研究

图 2 为重污染行业中采矿业碳排放效率的溢出效应结果。其中,图中横坐标为脉冲响应的期数,预测最长期限为 40 期,纵坐标为各个重污染行业在受到采矿业一单位正向的标准差冲击后各个行业碳排放效率的变动值。

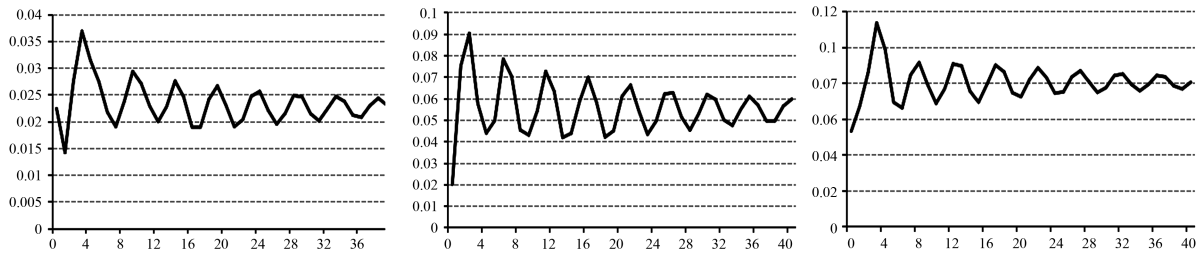


图2 采矿业碳排放效率的脉冲响应

注：图中从左到右依次为重污染行业中采矿业、制造业和电热燃水业，下同。

当采矿业的碳排放效率受到冲击时,自身当期的响应值为 0.022。第 1 期降至最低值 0.014 后并于第 3 期达到期间内最大值 0.037。从冲击效应图来看,在前 9 期的波动区间较大,第 27 期开始均在 0.02 以上,且保持在 0.023 上下小幅变化,表明采矿业碳排放效率的提升对自身产生正向促进作用。重污染行业中制造业在面对采矿业碳排放效率的冲击时,当期响应值为 0.020,为 40 期内最低值,后持续增强并于第 2 期升高到 0.091。第 14 期的响应值是 0.041,为期间内的次低值,自第 24 期开始稳定在 0.055 上下波动,因此采矿业对制造业碳排放效率的溢出效应长期来看为正。电热燃水业在面对采矿业碳排放效率一个标准差的正向冲击时,当期响应值 0.053,同样是 40 期内最低值,第 4 期上升至 0.114,第 17 期起波动幅度变缓,最大值与最小值的差值小于 0.015,且第 17 期至 40 期响应值的均值为 0.081。可见,采矿业碳排放效率的提升推动了电热燃水业的碳排放效率,溢出效应为正。

由上述可知,对采矿业的碳排放效率施加一个标准差的正向冲击时,对制造业和电热燃水业都产生正向溢出效应,且溢出效应均较为明显。长期来看,响应值分别为 0.055 和 0.081,其中对制造业溢出效应的最大值达到 0.091,对电热燃水业溢出效应的最大值为 0.114。

2.重污染行业中制造业碳排放效率的溢出效应研究

由图 3 可以看出,当对制造业的碳排放效率施加冲击时,其自身的当期响应值为 0.034,随后呈持续下降的走势,第 3 期开始转变为负响应,且第 4 期降至-0.006。第 8 期至 40 期的均值为 0.003,这表明制造业的碳排放效率具有一定的自我增强效应。采矿业在面对此正向冲击时,当期响应值为 0.0037,第 1 期和第 2 期稳步上涨,并于第 2 期达到 0.005 的峰值,响应值自第 3 期开始迅速降低,其中第 5 期为 40 期内最低值,仅为-0.004,在第 7 期达到次高值 0.005。整体来看 40 期响应值的波动区间是-0.004 至 0.005。从第 15 期开始均为正响应,第 15 期至 40 期的均值为 0.0003,说明制造业碳排放效率的提升会对采矿业产生正向溢出效应。电热燃水业在面对该正向冲击时,当期响应值为 0.040,第 1 期达到最大值 0.053 后在第 5 期降至最低值-0.015。伴随着一段小幅波动,响应值自第 25 期开始都大于 0,其中第 25 至 40 期的均值为 0.001。这意味着从长期来看,制造业同样对电热燃水业的碳排放效率产生正向溢出效应。

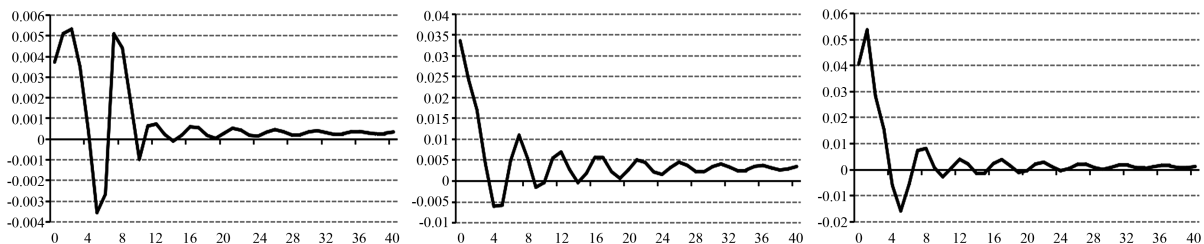


图3 重污染行业中制造业碳排放效率的脉冲响应

综上所述,制造业对采矿业和电热燃水业都产生正向溢出效应。长期来看,响应值分别为 0.0003 和 0.001,其中电热燃水业响应值的最大值为 0.053,相较于对采矿业的最大值 0.005 而言,溢出效应的更为明显。

3. 重污染行业中电热燃水业碳排放效率的溢出效应研究

当电热燃水业的碳排放效率受一个标准差的正向冲击时,该行业当期自身响应值是 40 期内最低值,为 0.088,之后响应值上升,至第 4 期达到 0.220 的峰值后转为下降的趋势。后期的响应值基本保持在 0.158 至 0.186 之间,且这期间的响应值均值为 0.176。长期来看,响应值均大于 0.15,意味着该行业对自身碳排放效率的变化较为敏感。采矿业受此冲击的当期响应值是-0.005,为负响应,随后该指标快速上升到正响应,第 5 期是 40 期内最大值 0.042,在经历几期波动后,自第 19 期起响应值始终稳定在 0.03 以上,第 19 期至 40 期响应值的均值为 0.033。可见采矿业在面对该正向冲击时其碳排放效率会有显著提升。制造业在受到该冲击时的当期响应为正,是期间内最低值 0.013,随着响应值不断提升,第 3 期响应值为期间内最高点 0.113,第 6 期下滑至次低值 0.066。第 16 期起响应值逐渐趋于稳定,保持在 0.075 至 0.090 之间,同时第 16 期至 40 期的均值为 0.081。制造业面对其冲击显现出正向溢出效应。

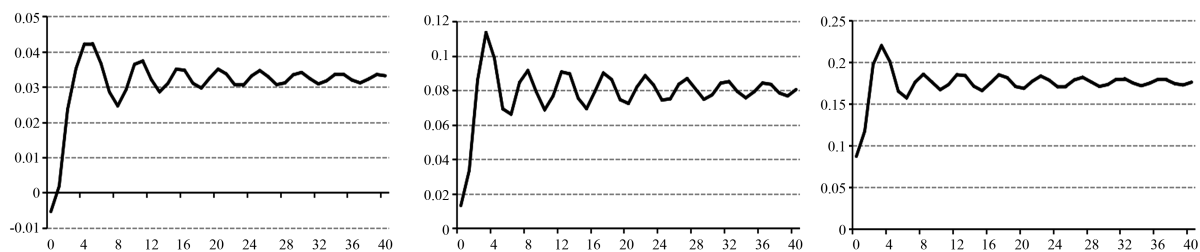


图 4 电热燃水业碳排放效率的脉冲响应

对电热燃水业的碳排放效率施加一个标准差的正向冲击时,其自身具有较强的自我增强效应,对其他行业碳排放效率都产生显著的正向溢出效应。长期来看,采矿业的响应值均值接近 0.033,制造业的响应值均值则较高,是 0.081,大约为采矿业的 2.5 倍。通过脉冲图可以看出,三类重污染行业的变动趋势均表现为在受到冲击后,当期的响应值为 40 期内最小值,在经历一段大幅上涨后有所回落,并最终趋于稳定。

(三) 政府支持对重污染行业间碳排放效率的溢出效应研究

当对重污染某一行业的政府支持施加一个标准差的正向冲击时,对本行业及其他行业碳排放效率所产生的影响。

1. 政府对采矿业资金支持所产生碳排放效率的溢出效应研究

由图 5 可以看出当采矿业受政府支持的冲击时,尽管当期的响应值为负响应,是-0.015,但仍为 40 期内的最高值。第 1 期开始响应值直线下降,并在第 4 期降至最低值-0.043,从第 13 期开始响应值逐渐稳定在-0.038 至-0.029 间,第 13 期至 40 期均值为-0.033。这表明采矿业在获得政府资金支持后,表现为负向抑制作用,即政府支持不利于其碳排放效率的提升,与此同时,从长期来看效应值维持在-0.033 上下变动。重污染行业中制造业在面对此冲击时,当期呈负响应,为-0.019。此后响应值持续降低,于第 2 期降至-0.095 后上升,前几期的波动范围较大,第 24 期开始响应值最大值与最小值之差小于 0.02,且第 24 期至 40 期的均值为-0.057,说明采矿业在受到政府支持这一冲击后对制造业的碳排放效率表现为负向溢出。电热燃水业在受到该冲击时,当期响应值为-0.056,同样为期间内最大值。第 2 期跌至-0.130 后迅速回升,第 4 期达到小高峰-0.075,从第 22 期开始波动趋于稳定,第 22 期至 40 期的响应值保持在-0.092 附近。长期来看,对电热燃水业的碳排放效率同样表现为负向溢出效应。

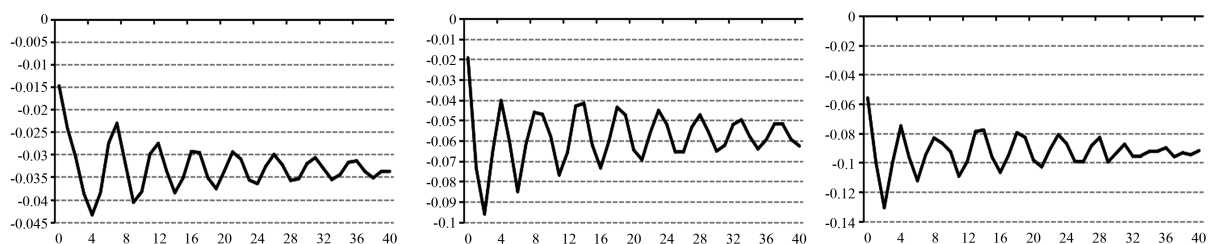


图5 政府支持采矿业对各行业碳排放效率的脉冲响应

尽管采矿业受政府支持后整个重污染行业的波动幅度和响应值各不相同,但都表现为负向溢出效应。长期来看,制造业和电热燃水业的响应值分别稳定在 -0.057 和 -0.092 附近,可见,电热燃水业在受到冲击后的负向效应更为明显。根据脉冲响应图的趋势可以看出,整个重污染行业在受冲击当期的响应值均为40期内最高值,在几期大幅下降后有所回升,并逐渐趋于稳定。

采矿业增加政府支持导致整个重污染行业碳排放效率降低的原因有两点:首先,由于采矿业中包括煤炭开采和洗选业、黑色金属矿采选业和有色金属矿采选业,这些行业多为垄断性质。垄断行业中的企业利用天然的垄断地位,与政府部门保持良好的沟通机制,可能通过寻租等方式获得政治资源、优惠政策以及资金支持,导致政府提供的资金支持没有真正投入到技术研发部门,从而造成了碳排放效率的降低。其次,采矿业多为垄断企业这一特性,容易发生监管不到位的问题,影响资金的利用效率。当对该行业增加政府支持时,资金可能因监管缺失而未能实现合理利用,致使整个行业效率值出现下降。

2.政府对制造业资金支持所产生碳排放效率的溢出效应研究

如图6所示当制造业受政府支持的冲击时,自身表现为正响应,且当期响应值为期间内最低值,仅为 0.005 。在经历5期大幅波动后,于第6期达到期间内顶峰 0.048 。整体而言响应值在前9期波动幅度较大,自12期开始脉冲响应值逐渐趋于一条直线,稳定在 0.034 左右。这表明制造业在获得政府支持后提升了自身的碳排放效率,且从长期来看响应值在 0.034 上下浮动。采矿业在受到该正向冲击时,当期的响应值为 0.002 ,呈正响应且趋近于0,响应值在随后2期持续波动上升,第3期开始增速大幅提升且在第5期响应值达 0.021 ,是40期内最大值。第6期至40期响应值最大值与最小值之差小于 0.01 ,且这35期的均值是 0.016 。可见,制造业在受到政府支持后提高了采矿业的碳排放效率,表现为正向溢出效应。电热燃水业面对这一冲击时,当期的响应值为 0.011 ,第1期提升至 0.046 ,冲击效应图整体呈上升趋势曲折变化,第6期上升至峰值 0.064 。从13期开始至40期的响应值大体呈一条直线,均值为 0.050 。即制造业加强政府支持对电热燃水业的碳排放效率表现为正向溢出效应。

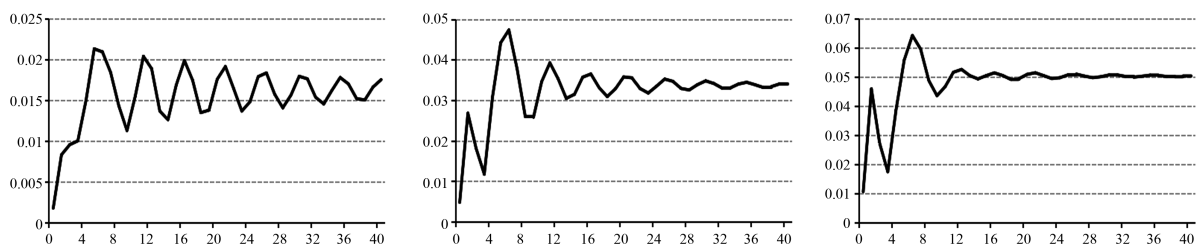


图6 政府支持制造业对各行业碳排放效率的脉冲响应

综上,当重污染行业中制造业的政府支持受冲击时,尽管不同行业溢出效应的响应值不同,但长期来看都表现为正向溢出效应。其中对电热燃水业的溢出效应相对较大,为 0.067 ,对采矿业的溢出效应相对较小,为 0.016 。

3.政府对电热燃水业资金支持所产生碳排放效率的溢出效应研究

如图7所示对电热燃水业的政府资金支持施加冲击时,自身在当期响应值最大,为 -0.064 。第2

期降至最低值-0.086,于第8期达到期间内次高值-0.073,第9期至40期响应值处于-0.082至-0.075这一区间。长期来看,响应值的绝对值接近0.08,表明该行业对自身政府支持反应比较敏感,但40期内该值均为负,即该行业增强政府支持对自身碳排放效率产生负向抑制作用。采矿业在受到这一正向冲击时,响应值当期最大,为-0.004,从第1期开始下降,直至第4期跌至最低值-0.017后反弹,第8期开始折线趋于平滑,且第8期至40期的均值是-0.014。即长期看来,采矿业在面对电热燃水业政府支持的冲击时,表现为负向溢出效应。制造业受到此正向冲击的当期响应值为-0.028,是40期内最大值。之后该指标表现出波动下降的趋势,第5期响应值为-0.042,是研究期内最小值。第6期至15期响应值的区间为-0.040至-0.032,第16期起响应值逐渐稳定,稳定在-0.036上下。这表明制造业在受此冲击时,长期来看同样呈现为明显的负向溢出效应。

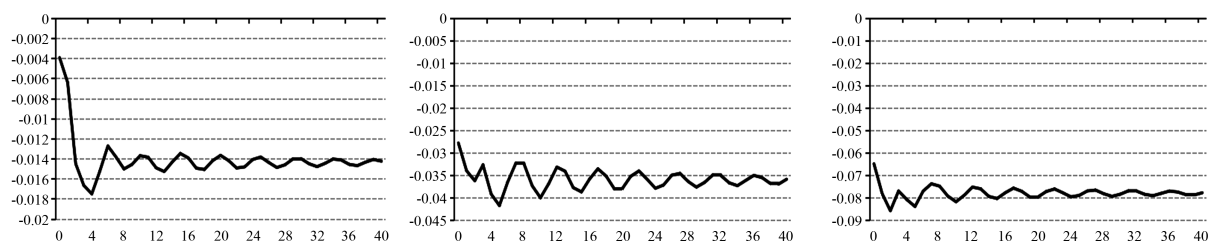


图7 政府支持电热燃水业对各行业碳排放效率的脉冲响应

电热燃水业的政府支持受到一个标准差正向冲击时自身的响应值长期稳定在-0.080附近,采矿业和制造业长期响应值分别为-0.014和-0.036,即整个重污染行业的响应值都为负。这主要是由于电热燃水业为垄断性行业,与采矿业增加政府支持导致整个重污染行业碳排放效率降低的原因相似。

五、研究结论与政策建议

采用超效率SBM模型对我国1998-2019年间重污染行业的碳排放效率进行测算,在此基础上通过GVAR模型分析重污染行业间碳排放效率的溢出效应和政府支持对碳排放效率所产生的溢出影响。主要结论为以下三点:

首先,在研究期间我国重污染行业碳排放效率均值处于0.126-0.687之间,效率值较低且波动幅度较大。但近年来呈现出上涨的趋势,这得益于我国政府近年来加强环境监管,制定了很多环保相关政策,支持企业开展技术创新。重污染行业的碳排放效率在行业间存在较大差异,其中电热燃水业效率值最高,采矿业效率值最低。

其次,重污染行业中某一个行业的碳排放效率在面对冲击时,该行业不仅具有较强的自我增强效应,同时对其他行业的碳排放效率都能产生正向溢出效应,由此可见,一个行业碳排放效率的增强推动了整个重污染行业碳排放效率的提高。其中,当对电热燃水业的碳排放效率施加正向冲击时,长期来看其响应值均大于0.15,表明该行业的自我增强效应最明显。

第三,当重污染行业的政府支持受一个标准差的正向冲击时,仅有制造业的政府支持提高了该行业自身和其他行业的碳排放效率,这与我国不断推行从“制造大国”向“制造强国”的战略有非常大的关系。采矿业和电热燃水业对行业自身碳排放效率造成负向抑制影响,对其他行业表现为负向溢出效应。这可能是因为这两类行业中的企业大多为垄断性质,存在寻租行为及由于监管不到位导致的政府资金利用效率较低等问题。

因此,根据研究结论,有以下建议:

第一,为了更快地实现碳中和的目标,重污染行业需要不断提高行业自身的碳排放效率。根据本

文的研究可以发现,重污染行业作为我国创新驱动产业转型的重点对象,应通过开展绿色创新驱动来实现行业的绿色转型。企业作为行业的主体,应积极推行绿色技术创新和管理制度创新,由之前“先污染、再治理”的理念转变为加大在企业的生产过程对环保的关注度,注重节能减排,淘汰掉落后的设备和技术。同时我国的重污染企业还需积极引入高质量人才,真正实现行业的绿色可持续发展。

第二,实现我国碳中和这一目标,需要充分发挥重污染行业间碳排放效率的溢出效应。根据本文的研究结果可知,溢出效应由大到小的行业为电热燃水业、采矿业和制造业,这为我国实现绿色低碳经济提供了路径图。此外,行业间应开展互补性质的科技创新活动,建立行业内部的技术创新联盟,加强行业内上中下游企业互相交流学习,从而减少技术壁垒和阻碍。通过形成互惠的长期战略合作关系实现企业技术水平和竞争力的提升,达到整个行业的碳排放效率的增强。

最后,重污染行业受到政府支持冲击的溢出效应存在异质性,不同行业所表现出的溢出效应有所差异。负向溢出效应出现的原因可能是寻租行为和监管的缺失,因此,为了实现碳中和的目标,对于一些垄断行业应不断加大市场化改革力度,加强对政府资金使用过程中的监管力度,遏制我国重污染行业中垄断性质企业的寻租行为,有效降低政府支出的“挤出效应”。加强对政府财政支出的管理,实现其效用最大化,使重污染行业真正攻克关键核心技术,有效提升行业的碳排放效率。

The Spillover Effect of the Carbon Emission Efficiency in China's Heavily Polluting Industries under the Background of Carbon Neutrality

Yang Youcai Niu Xiaotong

(College of Economic and Management, Qingdao University of Science and Technology,
Qingdao 266061, P.R.China)

Abstract: Improving the carbon emission efficiency of heavily polluting industries is one of the important measures to achieve China's carbon neutrality strategy. This study finds that the carbon emission efficiency value of China's heavily polluting industries is generally low, showing a fluctuating and rising trend. The carbon emission efficiency among heavily polluting industries shows positive spillover effects, among which electricity, heat, gas and water production and supply industries. The spillover effect of China's heavily polluting industries is the largest, followed by the mining industry and the smallest in the manufacturing industry, which provides a clearer road map for improving the carbon emission efficiency of China's heavily polluting industries. The spillover effect of government support on the carbon emission efficiency of China's heavily polluting industries is heterogeneous, and the spillover effects of different industries are different. Only the manufacturing industry has a positive spillover effect, and the mining industry and the electricity, heat, gas and water production and supply industries have a negative spillover effect. Therefore, the government should give full play to the positive spillover effect of the manufacturing industry, reduce the negative spillover effect of other industries, and improve the carbon emission efficiency of China's heavily polluting industries.

Keywords: Heavily polluting industries; Carbon emission efficiency; SBM model of super efficiency; Spillover effect; GVAR model

[责任编辑:邵世友]