

中部六省碳排放效率与产业结构优化的耦合协调度及影响因素分析

张翔祥 邓荣荣¹

(南华大学 经济管理与法学学院, 湖南 衡阳 421001)

【摘要】: 采用 SBM-Undesirable 模型测算了 1999—2017 年中部六省的碳排放效率, 分别计算了产业结构合理化指数和高级化指数, 利用耦合协调模型考察了碳排放效率与产业结构优化的耦合协调度, 并对其影响因素进行了实证分析。结果表明: 中部六省碳排放效率和产业结构合理化的耦合协调度较低, 处在中度失调和中度协调之间, 碳排放效率和产业结构高级化的耦合协调度处在中度失调和中度协调之间, 但有明显上升的趋势。人力资本、财政支出对中部六省碳排放效率和产业结构合理化的协调发展起到了促进作用, 而环境规制、能源结构产生了抑制的作用。人力资本对碳排放效率和产业结构高级化的耦合协调度有正向作用, 而外商投资、人均资本、制度质量和能源结构产生了抑制作用。

【关键词】: 碳排放效率 产业结构合理化 耦合协调度

【中图分类号】: F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2021)03-031-07

自 2005 年实施“中部崛起”战略以来, 中部六省 GDP 年平均增长率达 13%, 高于全国平均水平, 占全国 GDP 比重由 18.8% 增长到 21.4%, 2016 年 12 月, 《促进中部地区崛起规划(2016—2025 年)》经国务院审议通过, 其中提出的“加快推进产业结构优化升级”和“加快培育绿色发展方式”成了中部崛起总体思路的重要内容。随着中部地区基础设施和投资环境的进一步优化, 中部地区凭借北连“环渤海”、南贯“珠三角”、东临“长三角”的区位优势, 承接国际和国内产业转移的深度与广度不断增强。沿海省份产业结构升级带来的产业梯度转移, 一方面为中部地区带来了经济发展与产业结构优化的契机, 但另一方面, 在经济总量快速增长的同时, 中部六省能源消费和碳排放规模也在急剧增加。那么, 在经济结构调整与产业转型升级进程中, 中部六省的碳排放效率和产业结构优化程度如何? 碳排放效率与产业结构优化的耦合协调度如何? 如何实现中部区域碳排放效率提升和产业结构优化的耦合协调? 上述问题的回答一方面有利于基于节能减排视角理解中部地区经济发展与产业结构优化升级的实际成效, 另一方面, 对促进中部经济与环境协调发展具有重要的理论与现实意义。

1 文献综述

就产业结构转变对碳排放的影响而言, 现有文献大多采用两种方法进行研究。第一, 采用以投入产出法为基础的结构分解法(SDA)对产业结构变化的碳排放规模或强度效应进行实证检验。例如, 张友国^[1]基于投入产出结构分解方法实证分析了 1987—2007 年经济发展方式变化对中国 GDP 碳排放强度的影响, 结果表明, 三次产业结构、三次产业内结构变化都导致了碳排放强度的上升。Wang 等^[2]基于投入产出结构分解方法分析了北京二氧化碳排放量增长的驱动力, 结果显示, 生产结构变化和人口增长是驱动北京

¹作者简介: 张翔祥, 硕士研究生, 研究方向为生态经济。E-mail: 775126196@qq.com

邓荣荣, 博士, 副教授, 硕士研究生导师, 研究方向为生态经济。E-mail: 2419047387@qq.com

基金项目: 湖南省自然科学基金青年项目“湖南省碳排放增长的驱动路径分解、关键路径识别及减排政策优化研究”(2019JJ50512); 湖南省教育厅重点项目“脱贫攻坚期湖南省普惠金融的减贫效应测度与防返贫机制构建研究”(19A427)

市 CO₂ 排放增长的主要因素。张金良和关轶群^[3]基于可比价投入产出表和扩展的结构分解模型,对电力市场碳排放规模的主要驱动因素进行分析,提出优化生产结构是实现电力行业碳减排的根本途径。第二,采用指数分解方法(IDA)实证研究产业结构变化对碳排放规模的影响,其中对数平均指数分解法(LMDI)的应用最为广泛。例如,鲁万波等^[4]运用基于 LMDI 的“两层完全分解法”对中国 1994—2008 年的碳排放量的影响因素进行分解,结果表明:总产值和产业结构是助长碳排放量的主要因素。刘玉珂和金声甜^[5]运用 LMDI 分解方法探索产业结构等因素对中部六省能源消费碳排放的影响,发现产业结构因素对中部地区碳排放表现为正效应。Yang 等^[6]运用 LMDI 方法对 1996—2016 年我国碳排放量影响因素的实证结果表明,优化产业结构、改善能源结构可以有效抑制碳排放的增长^[6]。Yu 等^[7]采用了扩展的 LMDI 模型探讨中国民航业增长与碳排放的影响因素。结果表明,运输结构调整效应在抑制二氧化碳碳排放方面起着重要作用。就碳排放变量对产业结构的影响效应而言,现有研究大多基于政府监管的视角,研究碳排放的环境规制对产业结构的影响。例如,原毅军和谢荣辉^[8]采用门槛面板模型研究了环境规制驱动产业结构调整的门槛特征,结果表明:以工业污染排放强度作为门槛变量时,随着正式环境规制强度的上升,它会对产业结构调整产生先抑制、后促进、再抑制的影响,非正式规制强度总体上与产业结构调整正相关。王双燕等^[9]采用 2000—2012 年中国 30 个省份的数据考察外商直接投资、环境规制对产业结构高级化的影响,发现加强环境规制不仅有利于各地区产业结构高级化,而且可以缓解短期内外资对产业结构高级化的抑制作用。Dou & Han^[10]运用中介模型实证分析了环境规制对我国污染产业转移的影响,发现环境规制的加强会使“污染避难所”效应得到抑制,推动产业转移和产业结构转型。Chen & Qian^[11]使用 2004—2017 年中国沿海地区面板数据,实证研究了海洋环境规制对制造业产业结构升级和污染产业转移的双重影响,发现海洋环境规制与污染产业转移和产业结构升级都有着正“U”型关系,污染产业转移的拐点出现的时间早于产业结构升级的拐点。庞庆华等^[12]选取长江经济带 11 个省份 2005—2017 年的样本数据进行实证分析,结果表明,长江经济带各省份碳排放、产业结构和环境规制之间存在长期的均衡关系,且两两之间的互动作用明显,环境规制强度的变化对产业结构改善有积极的影响。

综合而言,现有文献针对碳排放变量和产业结构的关系进行了逐步深入的探讨,但存在两方面值得改进或充实的地方:(1)研究视角大多仅侧重于二者间的单向影响关系,基于碳排放变量和产业结构相互关联的视角研究二者间耦合关系的文献较少,因此,进一步的研究需要在构建耦合协调度模型的基础上研究碳排放变量和产业结构的耦合协调关系。(2)研究的碳排放变量大多为碳排放规模或强度,忽视了碳排放成本测度的价值,采用碳排放效率指标可以综合考察成本约束下的碳减排效果,对测度省份碳排放绩效更具参考价值。基于此,本文拟使用非径向 SBM-Undesirable 模型对中部六省的碳排放效率进行测算,从产业结构合理化和高级化两个维度衡量产业结构优化水平,分别计算碳排放效率与产业结构高级化和合理化的耦合协调度,并利用 Tobit 模型对其影响因素进行分析。

2 研究方法和数据来源

2.1 碳排放效率的测度模型

数据包络分析(DEA)是一种多投入多产出的效率测度方法。传统的 DEA 方法 CCR 和 BCC 计算出的只有“好产出”的决策单元效率,未考虑“坏产出”,忽略了生产过程中产生的环境负外部性,并且也未考虑投入产出变量的松弛问题。Tone^[13]提出的非径向、非角度的 SBM 模型,把松弛变量直接加入到传统 DEA 模型,解决了投入产出松弛的问题。Tone^[14]进一步将非期望产出加入到 SBM 模型,有效地测度了环境效率。本文采取非径向非角度的 SBM-Undesirable 模型测度在节能减排约束下中部各省份的碳排放效率,选取的投入和产出指标如下:

(1)投入指标。选取资本、劳动力和能源作为投入指标。资本投入变量以 1999—2017 年各省份全社会资本存量来表示,资本存量利用以 1999 年为基期采用永续盘存法计算每年的资本存量,公式为 $K_{it} = K_{it-1} + K_{it-1}(1 - \delta) + I_{it}$,借鉴张军和章元^[15]的测算结果,资本折旧率 δ 取值为 9.6%。劳动力投入以 1999—2017 年各省份全社会就业人员年末数来表示。能源投入以 1999—2017 年各省份一次能源消费量表示,采用各类能源的转化系数将 8 种主要一次能源¹的消费量折算成标准煤消费量。转化系数如表 1 所示。

表 1 各类一次能源的转换系数和碳排放系数

能源	原煤	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气
转化系数	0.7143	0.9714	1.4286	1.4714	1.4714	1.4571	1.4286	1.3300
碳排放系数	1.9798	3.0453	3.0680	2.9878	3.0828	3.1634	3.2398	2.1862

(2) 产出指标。期望产出采用 1999—2017 年各省份实际生产总值来表示, 利用 GDP 平减指数将各年度名义 GDP 平减至 1999 年。非期望产出为碳排放总量, 计算公式为 $TC = \sum E_j \lambda_j$, j 表示能源种类, E 表示各类能源的消耗量, λ 表示各类能源碳排放系数², 数值如表 1 所示。

2.2 产业结构优化的测度模型

(1) 产业结构合理化, 是指产业间的聚合质量。

反映了两方面内容: 第一, 度量了产业比例的协调程度。第二, 资源有效配置程度。根据其内涵, 借鉴干春晖等^[16]的做法, 采用泰尔指数来衡量产业结构的均衡程度:

$$TL = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_i}{Y} \right) \ln \left(\frac{Y_i}{L_i} / \frac{Y}{L} \right), i=1, 2, 3 \quad (1)$$

式中: TL 反映了产业结构的均衡程度, Y 为产值, L 为劳动力投入, i 表示产业种类。 TL 值为 0 时, 产业间比例完全均衡 TL 值越高, 说明产业比例越不均衡, 产业结构越不合理。产业结构合理化和泰尔指数存在反向关系, 因此本文采用 TL 的倒数来衡量产业结构合理化程度:

$$ins_reas = \frac{1}{TL} \quad (2)$$

(2) 产业结构高级化。

主要表现为产业结构的升级、产品附加值的增加和部门结构的优化。在产业结构方面主要表现为三次产业增加值排序从“一二三”转变为“三二一”。依据其内涵, 借鉴付凌晖^[17]的做法: 首先将三次产业增加值占 GDP 的比重分别作为空间坐标系的三个坐标, 构成一个三维向量 $X_0 = (x_{1,0}, x_{2,0}, x_{3,0})$, 分别计算 X_0 与产业由低层次到高层次排列的向量 $X_0 = (1, 0, 0)$, $X_0 = (0, 1, 0)$, $X_0 = (0, 0, 1)$ 的夹角 θ :

$$\theta_j = \arccos \left(\frac{\sum_{i=1}^3 (x_{i,j} \cdot x_{i,0})}{\sqrt{\sum_{i=1}^3 x_{i,j}^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^3 x_{i,0}^2}} \right), j=1, 2, 3 \quad (3)$$

算出夹角后, 计算产业结构高级化指数:

$$ins_high = \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^k \theta_j \tag{4}$$

ins_high 值越大, 表示产业结构高级化水平越高。

2.3 耦合协调度模型

耦合协调度模型基于耦合度模型建立。耦合一词来源于工程物理学, 耦合指两个或两个以上的系统通过相互作用而产生相互影响的现象, 耦合度则是表示系统或要素之间相互影响的程度。根据耦合度的定义, 采用以下模型测算碳排放效率与产业结构优化的耦合度:

$$C = \left\{ \frac{(X_1 \times X_2)}{(X_1 + X_2)^2} \right\}^{1/2} \tag{5}$$

式中: X_1 为归一化后的碳排放效率。 X_2 为归一化后的产业结构合理化或高级化指数。耦合度说明了系统间相互作用、相互影响的程度, 但无法真实反映系统变量之间的协调发展水平, 为反映碳排放效率与产业结构优化的耦合协调发展水平, 建立如下耦合协调度模型:

$$D = \sqrt{C \times (aX_1 + bX_2)} \tag{6}$$

式中: D 为耦合协调度, a 和 b 分别是碳排放效率和产业结构优化程度的权重。本文认为碳排放效率和产业结构优化指数在系统中同等重要, 取 $a=b=0.5$ 。耦合协调度取值范围是 $[0, 1]$, 本文根据耦合协调度数据将其划分为 6 个等级, 如表 2 所示。

2.4 数据来源

原始数据来源于各年份《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国科技统计年鉴》以及各省份的统计年鉴。涉及 GDP 和固定资产投资量的计算, 均采用以 1999 年为基期的 GDP 指数和固定资产投资价格指数进行平减处理。

3 碳排放效率与产业结构优化的耦合协调度分析

3.1 碳排放效率—产业结构合理化耦合协调度

表 2 耦合协调度对应的协调等级

失调		协调	
耦合协调度	协调等级	耦合协调度	协调等级

$0 \leq D < 0.2$	重度失调	$0.5 \leq D < 0.6$	低度协调
$0.2 \leq D < 0.4$	中度失调	$0.6 \leq D < 0.8$	中度协调
$0.4 \leq D < 0.5$	轻度失调	$0.8 \leq D < 1$	高度协调

利用模型(6)对中部六省碳排放效率与产业结构合理化的耦合协调度进行测算³,将主要年份的测算结果输出到 ArcGis10.2 进行分析,如图1所示。结果显示,中部六省1999年、2008年、2017年的耦合协调度分别保持在0.17~0.63、0.2~0.54、0.28~0.63,处在中度失调和中度协调之间。1999年,江西和湖北的耦合协调度较高,分别为0.636、0.551,两省的碳排放效率和产业结构合理化指数都较高,实现了协调发展。而其他四省则处于失调状态,山西、河南和安徽受能源结构单一和要素流动性差的影响,碳排放效率和产业结构合理化指数都处在较低的水平,没有构成良性互动的关系,而湖南碳排放效率非常高,产业结构合理化指数却低于平均水平,也未实现协调发展。2008年,湖南和江西为轻度协调,其他省都处在轻度或中度失调的阶段,这与2005年后的中部崛起战略有关,中部各省份承接产业转移,产业比例关系迅速变化,资源配置向第二、第三产业倾斜,但碳排放效率没有明显的提升,碳排放效率的提升滞后于产业结构的合理化。2017年除了山西和湖南处在失调的阶段,其他省都上升到了低度协调或中度协调的阶段,整体的耦合协调度有一定的提升,这一阶段,我国提出了“绿色发展”战略,中部各省份的碳减排政策取得了一定的效果,碳排放效率得到有效提升,同时发挥市场在资源配置中的绝对性作用,推动了产业结构的合理化,中部六省碳排放效率和产业结构合理化的耦合协调度有所提升。

3.2 碳排放效率与产业结构高级化耦合协调度

利用模型(6)计算出碳排放效率和产业结构高级化的耦合协调度,将主要年份的测算结果输出到ArcGIS10.2进行分析,如图2所示。可以看到,中部六省碳排放效率和产业结构高级化指数的耦合度整体偏低,1999年、2008年、2017年的耦合协调度分别保持在0.30~0.52、0.45~0.56、0.47~0.67,处在中度失调和中度协调之间,整体有上升的趋势。1999—2008年,湖北保持在低度协调的水平,湖南从轻度失调上升到了低度协调,其他四省从中度失调上升到了轻度失调,整体来看,耦合协调度有所上升,但水平仍然较低。在这一阶段,中部各省份通过承接东部的产业转移实现了第二产业的扩张,经济规模扩张带来的环境问题未得到重视,碳排放效率增长缓慢,耦合协调度主要处在轻度失调和低度协调的水平。2008—2017年,湖北、湖南从低度协调上升到了中度协调,河南和江西后来居上,从轻度失调直接上升到了中度协调,安徽从轻度失调上升到了低度协调,而山西仍保持在轻度失调的水平。在这一阶段,中部各省份采取积极的减排措施,碳排放效率得到提升,与产业结构高级化的耦合协调度有明显的上升,但总体来看,没有省份到达高度协调,并且中度协调的省份的耦合协调度也都是在0.65左右。碳排放效率和产业结构高级化的耦合协调度有待改善。

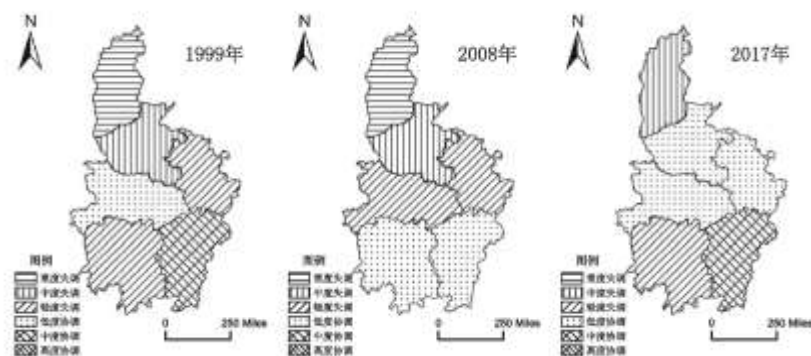


图1 碳排放效率与产业结构合理化耦合协调度时空格局

4 影响因素的实证分析

4.1 模型设定与指标选择

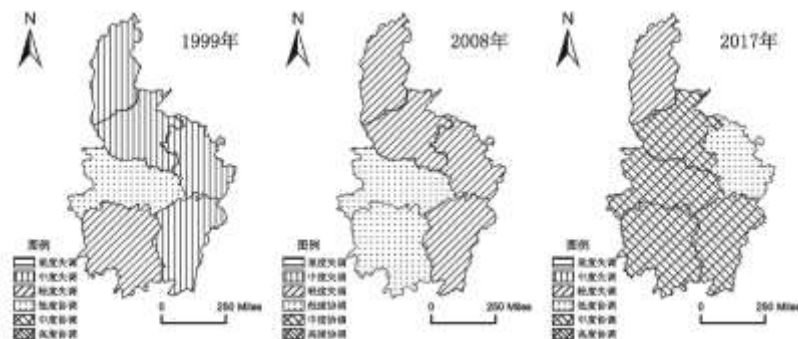


图2 碳排放效率与产业结构高级化耦合协调度时空格局

为研究影响中部六省碳排放效率与产业结构优化耦合协调度的因素,建立如下模型考察经济增长、人力资本、人均资本、外商投资、技术水平、制度质量、环境规制、能源结构等因素对中部六省碳排放效率与产业结构优化耦合协调度的影响效应:

$$D_{it} = \beta_0 + \beta_1 PGDP_{it} + \beta_2 HUM_{it} + \beta_3 PK_{it} + \beta_4 FDI_{it} + \beta_5 RD_{it} + \beta_6 SQ_{it} + \beta_7 REG_{it} + \beta_8 ES_{it} + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

式中: D 为碳排放效率与产业结构优化的耦合协调度,包括ED、HD,分别表示碳排放效率与产业结构合理化和高级化的耦合协调度, i 、 t 分别表示省份和年份, ε 表示随机误差。影响因素的指标选择如下:①人均生产总值(PGDP),以实际GDP与地区人口的比值来反映经济增长水平。②人力资本(HUM),由 $HUM = \sum E_i L_i$ 公式得到, E_i 表示拥有第 i 种学历的劳动力占总劳动力的比值, L_i 为拥有第 i 种学历人的受教育年限。③人均资本(PK),采用人均资本存量来表示。④外商直接投资(FDI),用每年外商直接投资额与本地区GDP的比值来表示。⑤研发投入(RD),以各地区研究、试验发展资金与从事科技活动人员的比重来表示。⑥财政支出(SQ),以各省份政府财政支出占GDP比重表示。⑦环境规制强度(REG),采用各地区工业污染治理完成投资占当年GDP的比重来表示环境规制强度。⑧能源结构(ES),将8种一次能源折算成标准煤,以各地区一次能源消费量中煤炭折算的标准煤所占比重来表示。

计算以上变量使用的原始数据来源于《中国能源统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国科技统计年鉴》和各省份的统计年鉴。涉及GDP、资本存量的计算均平减至1999年。

4.2 回归结果与分析

由于被解释变量取值范围是0~1,符合受限因变量Tobit模型的特点,因此本文采用Tobit模型进行参数估计,分别使用混合效应、固定效应和随机效应的Tobit模型进行估计,回归结果如表3所示,Hausman检验结果拒绝随机效应的原假设,因此固定效应模型回归结果比较准确,鉴于对稳健性的考虑,本文综合考虑3个模型的回归结果。各个变量的回归结果解释如下。

表3 Tobit模型回归结果

变量	ED			HD		
	混合效应	固定效应	随机效应	混合效应	固定效应	随机效应
PGDP	-0.1520	-0.1490	0.0672	-0.0488	-0.0408	-0.0402
	(0.1183)	(0.1020)	(0.0469)	(0.0438)	(0.0307)	(0.0345)
HUM	0.0876*	0.1050***	0.0139	0.1080***	0.1141***	0.0827***
	(0.0516)	(0.0306)	(0.0273)	(0.0338)	(0.0205)	(0.0224)
PK	0.0093	0.0083	0.0036	-0.0060**	-0.0074***	-0.0001
	(0.0126)	(0.0053)	(0.0049)	(0.0025)	(0.0027)	(0.0039)
FDI	-0.0175	-0.0545	0.3541***	-0.3022**	-0.3070***	-0.1550
	(0.1201)	(0.1324)	(0.1373)	(0.1192)	(0.0969)	(0.1031)
RD	0.0003	0.0025	-0.0061***	0.0035*	0.0027	0.0020
	(0.0059)	(0.0029)	(0.0020)	(0.0021)	(0.0017)	(0.0015)
SQ	0.3670	0.8910**	0.3272	-0.5634***	-0.4821***	-0.1380
	(0.4050)	(0.3744)	(0.3255)	(0.1601)	(0.1602)	(0.2630)
REG	-32.7307***	-32.7510***	-10.2323*	3.5692**	1.7774	5.6380
	(11.5730)	(6.4371)	(5.6852)	(1.7721)	(3.3420)	(4.3941)
ES	-0.8264***	-0.9355***	-0.3291*	-0.5000***	-0.4812***	-0.2572
	(0.2204)	(0.0793)	(0.1954)	(0.0713)	(0.0797)	(0.1604)
C	0.0233	0.3721	0.3813	-0.4181	0.3361***	-0.3601*
	(0.6522)	-0.3110	(0.2860)	(0.4130)	(0.0130)	(0.2140)

(1) 经济发展。

人均 GDP 在两个模型中均不显著。随着经济规模的扩张, 非农业部门产值占比增加, 资源逐渐流向更高效的部门, 产业结构合理化和高级化指数都有所提升。企业会具有更加雄厚的资金进行减排技术的研发, 但中部地区经济的快速增长需要大量的能源投入和碳排放来支持, 因此, 由经济规模的扩张带来碳排放效率的变化是不显著的。

(2) 人力资本。

人力资本在两个模型中都为正向显著。首先, 人力资本不仅本身会被投入生产, 而且会通过发挥技术扩散提高资本、劳动、能源要素的生产率, 帮助企业生产提高碳排放效率。其次, 中部地区人力资本的增加, 会通过提高决策部门的管理水平使生产要素得到有效配置, 从而促进碳排放效率与产业结构优化的协调发展。

(3) 人均资本。

在 ED 模型中为正向不显著, 在 HD 模型中为负向显著。表明中部地区人均资本显著降低了碳排放效率与产业结构高级化耦合协调度。中部地区 2017 年固定资产投资额增速为 4%, 第三产业增加 7.5%, 投资的增加推动了产业结构的高级化。受劳动力素质和需求的制约, 投资的增加并没有促进剩余劳动力的转移, 对产业结构合理化的影响并不显著。同时, 伴随中部地区工业化进程的加速, 工业资本快速累积, 会导致碳排放的持续增加, 不利于碳排放效率和产业结构高级化的耦合协调发展。

(4) 外商直接投资。

FDI 在 ED 模型中并不显著, 在 HD 模型中为负向显著。表明 FDI 显著降低了碳排放效率与产业结构高级化的耦合协调度。中部地区三次产业 FDI 结构呈“二三一”次序, 第二、三产业占绝对的比重, 推动了中部六省产业结构的高级化。受劳动力素质和需求制约, FDI 的增加并没有促进中部地区剩余劳动力的有效流动, 对产业结构合理化的影响不显著。从 FDI 动机来看, FDI 多以资源寻求型为主, 工业部门的 FDI 占有绝对比重, FDI 质量较低, 通过技术溢出效应减少的碳排放不足以抵消通过扩大生产规模增加的碳排放, 对碳排放效率具有不利的影响。

(5) 研发投入。

综合来看, 研发投入对碳排放效率和产业结构优化的协调发展有正向作用, 但并不显著。技术进步可以通过创造新产业、更新生产技术和工艺等方式促进产业结构的优化升级, 同时技术进步可以带动企业碳排放效率的提升。当前, 研发投入对两者协调发展的促进作用还未充分显现, 充分发挥技术创新的积极作用将是产业政策的方向和重点。

(6) 财政支出。

在 ED 模型中为正向显著, 在 HD 模型中系数为负向显著。科教经费的增加可以通过增加人力资本存量、加速科技成果转化直接提升企业的碳排放效率, 支出增加意味着政府税收的增加, 在预算约束下, 政府通过直接或间接征收“环保税”倒逼企业提升碳排放效率。其次, 占比较大的经济建设经费的增加, 可以促进市场对生产要素的有效配置, 使产业结构趋于合理, 但可能使得产业结构向第二、第三产业偏向的速度加快, 导致碳排放效率的提升略滞后于产业结构的高级化。

(7) 环境规制强度。

环境规制在 ED 模型中为负向显著, 在 HD 模型中为正向不显著。环境规制可以通过倒逼机制驱动产业结构趋向合理, 但存在先抑制、后促进、再抑制的作用顺序。环境规制亦能倒逼企业进行减排技术的研发, 起初会通过“创新补偿效应”促进碳减排, 但后期会遵循“成本效应”对碳减排产生不利影响。推测环境规制对产业结构合理化和碳排放效率的影响曲线产生了“错位”, 没有到达既能促进产业结构合理化又能最大限度提高碳排放效率的最佳区间。

(8) 能源结构。

能源结构在两个模型中皆为负向显著, 说明煤炭消费占比越高, 越不利于碳排放效率和产业结构优化的协调发展。能源结构不合理仍是制约中部地区经济绿色发展的重要因素, 不仅会消耗大量的一次性化石能源, 而且会导致碳排放的持续增加, 对碳排放效率的提升产生不利影响。

5 结论与思考

第一,中部六省碳排放效率和产业合理化的耦合度整体偏低,主要处在中度失调和中度协调之间,但有向好的趋势,到2017年只有湖南和山西处在失调的阶段。碳排放效率和产业结构高级化的耦合度也偏低,处在中度失调和中度协调之间,但有明显上升的趋势,中度协调的省份从1999年的0个增加到2017年的4个,且2017年只有山西处在失调的阶段。碳排放效率和产业结构优化的耦合协调度还有很大的上升空间,特别是山西省,需要采取更加积极主动的措施促进耦合协调度的提升。

第二,通过实证分析,发现人力资本、制度质量对中部六省碳排放效率和产业结构合理化的协调发展起到了明显的促进作用,而环境规制、能源结构产生了削减的作用。人力资本对碳排放效率和产业结构高级化的耦合协调度具有正向促进作用,而外商直接投资、人均资本、制度质量和能源结构产生了抑制作用。

根据结论,在促进碳排放效率与产业结构优化协调发展的可行路径方面有以下思考:

(1)提高人力资本存量是促进中部地区碳排放效率和产业结构优化发展的根本路径,地方政府应加大科技和教育建设的财政支出,着力增加人力资本存量和质量,出台更加有效的人才激励政策,建立长效的人才培养机制,培养人才的同时留住人才,加强对东部地区和国外先进技术的学习和吸收能力,以促进碳排放效率的提高和产业结构优化协同发展。

(2)提高外资准入门槛,扩大对高质量外资的引入,引导FDI流入高端制造业和服务业,对具有清洁技术的外资企业给予政策优惠,充分发挥其技术溢出效应。同时注重自主创新,加大研发投入,在研究增加产出技术的同时,考虑环境负外部性,提高能源利用效率,为实现我国的碳减排目标做出贡献。

(3)发展清洁能源、降低化石能源占总能源消费的比例,利用区位优势扩大引进天然气等清洁能源的规模。目前,化石能源开采规模大、价格低,在中部各省份能源消费中仍占有较大比例,当前能源政策的重点在于扩大清洁能源规模,培育其成本优势,政府应对清洁能源企业的发展给予政策补贴,提高其供给能力。

参考文献:

- [1]张友国.经济发展方式变化对中国碳排放强度的影响[J].经济研究,2010(4):120-133.
- [2]Wang Y F,Zhao H Y,Li L Y,et al. Carbon dioxide emission drivers for a typical metropolis using input-output structural decomposition analysis[J].Energy Policy,2013,58(7):312-318.
- [3]张金良,关铁群.基于IO-SDA模型的电力行业碳排放影响因素分析[J].华北电力大学学报(社会科学版),2019(6):39-46.
- [4]鲁万波,仇婷婷,杜磊.中国不同经济增长阶段碳排放影响因素研究[J].经济研究,2013(4):106-118.
- [5]刘玉珂,金声甜.中部六省能源消费碳排放时空演变特征及影响因素[J].经济地理,2019(1):182-191.
- [6]Yang J,Cai W,Ma M D.Driving forces of China's CO₂ emissions from energy consumption based on Kaya-LMDI methods[J].Science of Total Environment,2020,711(4):10-21.
- [7]Yu J L,Shao C F,Xue C Y.China's aircraft-related CO₂ emissions:Decomposition analysis,decoupling status, and future trends[J].Energy Policy,2020(1):12-15.
- [8]原毅军,谢荣辉.环境规制的产业结构调整效应研究——基于中国省际面板数据的实证检验[J].中国工业经

济, 2014(8):57-69.

[9]王双燕,魏晓平,赵雷英.外商直接投资、环境规制与产业结构高级化[J].首都经济贸易大学学报,2016(1):26-32.

[10]Dou J M,Han X.How does the industry mobility affect pollution industry transfer in China:Empirical test on pollution haven hypothesis and Porter hypothesis[J].Journal of Cleaner Production,2019,217(4):105-115.

[11]Chen X,Qian W W.Effect of marine environmental regulation on the industrial structure adjustment of manufacturing industry:An empirical analysis of China's eleven coastal provinces[J].Marine Policy,2020,113(3):1-18.

[12]庞庆华,周末沫,杨田田.长江经济带碳排放、产业结构和环境规制的影响机制研究[J].工业技术经济,2020(2):141-150.

[13]Tone K.A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis[J].European Journal of Operational Research,2002,143(1):32-41.

[14]Tone K.Dealing with undesirable outputs in DEA:A slacks-based measure (SBM) approach[R].Toronto:North American Productivity Workshop,2004.

[15]张军,章元.对中国资本存量K的再估计[J].经济研究,2003(7):35-43.

[16]干春晖,郑若谷,余典范.中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J].经济研究,2011(5):4-16.

[17]付凌晖.我国产业结构高级化与经济增长关系的实证研究[J].统计研究,2010(8):79-81.

注释:

1 原煤、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气。

2 碳排放系数= $NCV \times CEF \times COF \times 44/12$, NCV 为各类能源的平均低位发热量; CEF 为各类能源的缺省排放因子; COF 是碳氧化因子,取值为 1; 44/12 即为将碳转化为二氧化碳的系数。

3 为节约篇幅,碳排放效率、产业结构优化指数的计算结果不再列出,如有需要可向作者索取。