

产业结构变动的碳减排 效应:动态累积与空间差异

张 伟 王韶华*

摘要: 本文构建了反映各区域不同产业产值变动与国家、区域自身以及其他区域碳强度动态关系的数理模型,研究我国各区域产业结构变动的全局和局部动态累积碳减排效应。实证结果表明:各区域第一产业产值增加降低碳强度的作用稍大于第三产业,而第二产业发展对GDP的贡献要小于其对CO₂排放量的影响;从即期效应看,西南区域第一产业产值增加和第二产业产值减少对碳减排的促进作用较大,南部沿海第三产业产值变动碳减排效应也较大,此区域对全国碳减排目标实现区域有较大动态累积作用;京津区域为短期内产业结构变动碳减排潜力较大的区域,从累积效果看,西南区域和南部沿海区域产业结构变动的碳减排潜力较大。东部沿海区域和南部沿海区域碳排放易受其他区域产业结构调整的不利影响。

关键词: 产业产值变动;碳减排;动态累积作用;区域间投入产出关系

一、引言

工业化进程的加快使得经济发展与资源、环境之间的矛盾日益突出。近几年来,国家碳减排举措初见成效。据国家发改委测算,2013年我国单位国内生产总值能耗下降了3.7%,单位国内生产总值CO₂排放量下降3.7%以上。但根据“十二五”规划中期评估,我国仍然面临严峻的碳排放形势、日益严重的能源威胁与环境恶化局面。在未来较长时间内,低碳发展将是我国经济发展所面临的一项必要和迫切的重要任务。

产业结构调整是实现低碳经济的关键,也是经济增长速度和质量的决定要素。产业结构变动通过影响能源消费总量和结构影响碳排放总量,因此产业结构是决定碳强度的重要因素。但从实证研究的结果来看,学者们对产业结构调整碳减排作用力的强弱并没有一致的结论。一种观点认为产业结构变动对于碳减排具有显著的作用。郭朝先(2012)采用LMDI(Log-Mean Divisia Index)分解方法,定量分析产业结构变动对碳排放变动的影响,认为

*张伟,东北大学秦皇岛分校经济学院,邮政编码:066004,电子信箱:zhangwei830617@163.com;王韶华,燕山大学经济管理学院,邮政编码:066004,电子信箱:wangshaohua0813@126.com。

本文得到中央高校基本业务费“产业结构低碳化减排敏感性的时空分异特征研究”(项目号:N130323009)、河北省自然科学基金项目“京津冀一体化下河北省承接产业转移与产业结构动态演化升级研究”(项目号:G2015501064)、河北省社会科学基金项目“基于动态碳减排效应的河北省产业结构调整研究”(项目号:HB14YJ097)、东北大学秦皇岛分校人文社科重点项目“产业结构升级目标下河北省承接产业转移模式与重点产业选择”(XNR201502)的资助。感谢匿名审稿专家提出的建设性意见,当然文责自负。

目前的产业结构变动驱动了碳排放增长。另一种观点认为产业结构对碳排放变化的贡献微弱。王锋等(2010)、范丹和王维国(2012)等的研究表明,产业结构对我国碳排放的增长起到了微弱的拉动效应。产生上述分歧的原因可能是:(1)这些研究多数以产业结构作为整体变量,运用历史统计数据进行分析,研究结果受研究方法以及数据选择的制约较大;(2)所研究的区域不同,产业结构变动对碳减排的调节效力必然存在差异。因此,有必要区分产业和区域对产业结构调整碳减排效应的影响,从而避免以单一地区为研究对象,区域之间可比性较弱,难以统一规划和管理弊端。在这种情况下,学者们开始尝试研究不同产业产值变动的碳减排效果以及分区域效应。郝珍珍和李健(2013)对 Kaya 等式进行扩展,构建了行业二氧化碳排放增长驱动力模型,测算了农林牧渔水利业、工业、建筑业、仓储运输邮政业、商业五个行业对碳排放的贡献度。Lu 等(2013 年)采用 IEA(International Energy Agency)的 BAT(Best Available Technologies)方法,以 2010 年为基准年估算了台湾地区六大高耗能行业(化工、电机、钢铁、纺织、水泥、造纸)的最大节能减排潜力。曹珂和屈小娥(2014)在全要素框架下测算并分析了我国各省份 CO₂ 排放绩效、减排潜力和减排规模。Leontief 投入产出模型能够同时将行业和区域纳入统一体系,由于这一优势,该方法逐步运用到产业结构调整的 CO₂ 排放潜力评估过程中(Hetherington, 1996; Munksgaard and Pederson, 2001; Rhee and Chung, 2006)。近几年,我国学者也逐步开展这方面的相关研究,并取得了一些成果。刘红光等(2010)在非竞争型投入产出分析框架下,建立了区域碳排放的结构分析模型及其敏感性分析方法,并利用中国 2007 年非竞争型投入产出表,对中国经济结构调整的排放敏感性进行了研究。孙立成等(2014)以投入产出表为基础,采用碳排放系数法测度了省际区域碳排放转入总量及碳排放转出总量,并通过构建基于地理特征和经济特征的空间权重矩阵,综合运用 Moran's I 指数和地理加权回归模型分别研究了中国省际区域碳排放转移的空间分布特征及其经济溢出效应。然而,现有研究并没有考虑时间因素的影响。

产业结构有其自身的演变规律,在采取措施予以干扰,促使其发生即期变动后,随着时间的推移,产业结构也会发生相应的变化,因此各产业单位产值变动对碳强度的影响就呈现出动态化特征。评估产业结构调整的碳减排潜力,必须考虑由产业结构即期变动所带来的其演变轨迹转移对各产业部门碳减排敏感性产生的影响,从而预测产业结构调整方案在未来各时间的碳减排力度。以此为基础设计的产业结构调整目标才更加具有可操作性和长远性。此外,第一产业部门在生产过程中不仅要消耗本区域相关产业的产品,还要消耗其他区域相关产业的产品。某一区域产业产值变动会影响该区域地区生产总值,而地区生产总值增加不仅会拉动本区域的投资需求和消费需求,由于区域之间、产业之间的投资需求关联和消费品转移,也会拉动其他区域的投资和消费,进而引发各区域不同产业部门产出、地区生产总值、投资和消费的新一轮增长,从而与产业产出有密切关系的碳强度也会发生相应变化。因此,某一区域产业产值变动对区域总体、该区域以及其他区域碳强度的影响均呈现动态化特征。

本文以区域投入产出理论和国民收入决定理论为基础,在明确区域产业部门之间的中间需求关联、区域之间投资品转移和消费品转移状况的基础上,构建了反映各区域不同产业部门产值变动与区域总体、该区域以及其他区域碳排放的动态关系的数理模型,并对我国八大区域三次产业变动的全局和局部碳减排效应进行实证研究。本文的贡献主要有:(1)构建区域各产业部门之间的投资品转移系数矩阵,从而明确各区域不同产业部门固定资产投资

与固定资本形成之间的数量关系;(2)构建区域间消费品转移系数矩阵,从而确定各区域对不同产业产品最终消费需求的产品来源情况;(3)确定各区域产业产值变动对区域总体碳减排的动态作用关系,明确各区域产业结构调整对碳减排潜力;(4)确定各区域产业产值变动与各区域碳减排的动态作用关系,以及区域产业结构调整对碳减排的调节效力与溢出效应。

二、模型的理论推导

(一) 产业产值变动对全局碳减排的动态累积作用

各产业之间在生产过程中存在着较强的生产关联。每一产业在生存、发展和壮大过程中都要消耗其他产业及其自身生产的产品,这一部分消耗在投入产出理论中被称为中间需求。假设产业结构调整政策的实施,使得某一产业产值增加,在生产消耗系数不变的前提下,各产业部门的中间需求也会增加。

为研究不同区域各产业产值变动对区域总体碳排放的影响,以 $\Delta X_m = [\Delta x_{1(m)}^1, \dots, \Delta x_{l(m)}^1, \dots, \Delta x_{1(m)}^s, \dots, \Delta x_{l(m)}^s, \dots, \Delta x_{1(m)}^\sigma, \dots, \Delta x_{l(m)}^\sigma]^T$ 表示初始产值变动后第 m 年各区域不同产业总产出的变化量,其中 $\Delta x_{j(m)}^s$ 为 s 区域 j 产业总产出在第 m 年变化量; σ 为区域数量; j 为产业部门的代码,其最大值为 l ,表示产业部门总数量。假定初始时刻只有一个区域的一个产业部门产值发生变动:

$$\Delta X_{j(0)}^s = [\dots, x_j^s \cdot \mu_j^s, \dots]^T \quad (1)$$

(1)式中: x_j^s 为 s 区域 j 产业总产出初始值; μ_j^s 为 s 区域 j 产业总产出变动比率。

构造 $A = (a_{ij}^{rs})_{l\sigma \times l\sigma}$ 表示各区域不同产业间的中间消耗系数,其中 $a_{ij}^{rs} = x_{ij}^{rs}/x_j^s$, x_{ij}^{rs} 为区域间投入产出表中 s 区域 j 产业产出对 r 区域 i 产业产品的中间消耗,则 a_{ij}^{rs} 为 s 区域 j 产业单位产出对 r 区域 i 产业产品的中间消耗量。假定该值在研究期间不发生变化,根据投入产出理论,总产出由中间需求、资本形成额(包括固定资本形成额和存货两部分)、最终消费和净出口四部分组成。在第一轮传导中只有中间需求发生变化, s 区域 j 产业部门产值变动通过中间需求关联所引起的各产业部门产值在初始变动后第一年的变动可表示为:

$$\Delta X_{j(1)}^s = A \cdot \Delta X_{j(0)}^s \quad (2)$$

令 $E = [1, \dots, 1]$, s 区域 j 产业产值变动引起的国内生产总值在第 m 年的变化量为 $\Delta gdp_{j(m)}^s$, 则国内生产总值的第一轮变动 $\Delta gdp_{j(1)}^s$ 为:

$$\Delta gdp_{j(1)}^s = E(I-A) \Delta X_{j(1)}^s = E(I-A) A \cdot \Delta X_{j(0)}^s \quad (3)$$

设定矩阵 N 的基本形式为:

$$N = \begin{bmatrix} n & 0 & \dots & 0 \\ 0 & n & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & n \end{bmatrix} \quad (4)$$

(4)式中: $n = (1)_{l \times l}$, 为所有元素均为 1 的 l 行 l 列矩阵。

以 $\Delta GDP_{j(m)}^s = [\Delta gdp_{j(m)}^{1s}, \Delta gdp_{j(m)}^{2s}, \dots, \Delta gdp_{j(m)}^{ss}, \Delta gdp_{j(m)}^{(l+1)s}, \dots, \Delta gdp_{j(m)}^{(l+\sigma)s}]^T$ 表示各区域地区生产总值变化量,该向量前 l 行为区域 1 地区生产总值变化量,第 $l+1$ 至第 $2l$ 行为区域 2 地区生产总值变化量,依次类推。由 $\Delta X_{j(1)}^s$ 导致的各区域地区生产总值变化量列向量 $\Delta GDP_{j(1)}^s$ 可表示为:

$$\Delta GDP_{j(1)}^s = N(I-A) \cdot \Delta X_{j(1)}^s = N(I-A) A \cdot \Delta X_{j(0)}^s \quad (5)$$

以 $H = \text{diag}(h^1, \dots, h^1, \dots, h^s, \dots, h^s, \dots, h^\sigma, \dots, h^\sigma)$ 表示各区域投资倾向对角矩阵, 其中 h^s 为 s 区域投资倾向; $B = \text{diag}(b^1, \dots, b^1, \dots, b^s, \dots, b^s, \dots, b^\sigma, \dots, b^\sigma)$ 表示各区域消费倾向对角矩阵, 其中 b^s 为 s 区域消费倾向。假定在一定时期内投资倾向和消费倾向均保持不变。设定 s 区域 j 产业单位产出变化产生的国内生产总值增量用于新增投资和新增消费的部分分别为 $Y_{lj(1)}^s$ 和 $Y_{cj(1)}^s$, 具体表达式为:

$$Y_{lj(1)}^s = H \cdot \Delta GDP_{j(1)}^s; Y_{cj(1)}^s = B \cdot \Delta GDP_{j(1)}^s \quad (6)$$

$Y_{lj(1)}^s$ 用于产业部门投资, 投资会消耗投资品, 而投资品来源于固定资本形成, 因此产业投资以固定资本形成为纽带与最终投资需求之间存在联系 (张伟等, 2014)。区域产业间的投资关联情况见表 1。为反映产业投资品来源情况, 设定区域间各产业投资消耗系数矩阵 $G = (g_{ij}^s)_{\sigma \times \sigma \times l}$, $g_{ij}^s = \rho_{ij}^s / I_j^s$, 表示 s 区域 j 产业部门单位投资对 r 区域 i 产业部门投资品的需求量。 ρ_{ij}^s 表示 s 区域 j 产业部门固定资产投资对 r 区域 i 产业投资品的消耗量; I_j^s 表示对 s 区域 j 产业固定资产投资额; cf_j^s 为 s 区域 j 产业固定资本形成额; cf_j^r 表示 r 区域 j 产业固定资本形成额转移到 s 区域的数量。

表 1 区域间投资品转移和消耗状况

		投资消耗										
		区域 1					...	区域 σ				
		1	2	...	l	cf_j^1		1	2	...	l	cf_j^σ
区域 1	1	ρ_{11}^{11}	ρ_{12}^{11}	...	ρ_{1l}^{11}	cf_1^{11}	...	$\rho_{11}^{1\sigma}$	$\rho_{12}^{1\sigma}$	...	$\rho_{1l}^{1\sigma}$	$cf_1^{1\sigma}$
	2	ρ_{21}^{11}	ρ_{22}^{11}	...	ρ_{2l}^{11}	cf_2^{11}	...	$\rho_{21}^{1\sigma}$	$\rho_{22}^{1\sigma}$	...	$\rho_{2l}^{1\sigma}$	$cf_2^{1\sigma}$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	l	ρ_{l1}^{11}	ρ_{l2}^{11}	...	ρ_{ll}^{11}	cf_l^{11}	...	$\rho_{l1}^{1\sigma}$	$\rho_{l2}^{1\sigma}$	...	$\rho_{ll}^{1\sigma}$	$cf_l^{1\sigma}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
区域 σ	1	$\rho_{11}^{\sigma 1}$	$\rho_{12}^{\sigma 1}$	...	$\rho_{1l}^{\sigma 1}$	$cf_1^{\sigma 1}$	...	$\rho_{11}^{\sigma \sigma}$	$\rho_{12}^{\sigma \sigma}$	...	$\rho_{1l}^{\sigma \sigma}$	$cf_1^{\sigma \sigma}$
	2	$\rho_{21}^{\sigma 1}$	$\rho_{22}^{\sigma 1}$	...	$\rho_{2l}^{\sigma 1}$	$cf_2^{\sigma 1}$	...	$\rho_{21}^{\sigma \sigma}$	$\rho_{22}^{\sigma \sigma}$	...	$\rho_{2l}^{\sigma \sigma}$	$cf_2^{\sigma \sigma}$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	l	$\rho_{l1}^{\sigma 1}$	$\rho_{l2}^{\sigma 1}$	...	$\rho_{ll}^{\sigma 1}$	$cf_l^{\sigma 1}$	...	$\rho_{l1}^{\sigma \sigma}$	$\rho_{l2}^{\sigma \sigma}$	...	$\rho_{ll}^{\sigma \sigma}$	$cf_l^{\sigma \sigma}$
各产业固定资产投资合计		I_1^1	I_2^1	...	I_l^1	—	...	I_1^σ	I_2^σ	...	I_l^σ	—

各区域不同产业固定资本形成额转移到 s 区域的数量与 s 区域各产出固定资产投资额之间的关系为:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_{11}^{1s} + \rho_{12}^{1s} + \dots + \rho_{1l}^{1s} + \varepsilon = cf_1^{1s} \\ \rho_{21}^{1s} + \rho_{22}^{1s} + \dots + \rho_{2l}^{1s} + \varepsilon = cf_2^{1s} \\ \vdots \\ \rho_{l1}^{1s} + \rho_{l2}^{1s} + \dots + \rho_{ll}^{1s} + \varepsilon = cf_l^{1s} \\ \vdots \\ \rho_{11}^{\sigma s} + \rho_{12}^{\sigma s} + \dots + \rho_{1l}^{\sigma s} + \varepsilon = cf_1^{\sigma s} \\ \rho_{21}^{\sigma s} + \rho_{22}^{\sigma s} + \dots + \rho_{2l}^{\sigma s} + \varepsilon = cf_2^{\sigma s} \\ \vdots \\ \rho_{l1}^{\sigma s} + \rho_{l2}^{\sigma s} + \dots + \rho_{ll}^{\sigma s} + \varepsilon = cf_l^{\sigma s} \\ \rho_{11}^{1s} + \rho_{21}^{1s} + \dots + \rho_{l1}^{1s} + \rho_{11}^{\sigma s} + \rho_{21}^{\sigma s} + \dots + \rho_{l1}^{\sigma s} = I_1^s \\ \vdots \\ \rho_{1l}^{1s} + \rho_{2l}^{1s} + \dots + \rho_{ll}^{1s} + \rho_{1l}^{\sigma s} + \rho_{2l}^{\sigma s} + \dots + \rho_{ll}^{\sigma s} = I_l^s \end{array} \right. \quad (7)$$

构造固定资本形成变化量列向量:

$\Delta CF_{j(m)}^s = [\Delta cf_{1(m)}^1, \Delta cf_{2(m)}^1, \dots, \Delta cf_{1(m)}^2, \Delta cf_{2(m)}^2, \dots, \Delta cf_{j(m)}^s, \Delta cf_{(j+1)(m)}^s, \dots]^T$, 其中 $\Delta cf_{j(m)}^s$ 表示 s 区域 j 产业产值变动所引起的 j 产业部门固定资本形成额在第 m 年的变化; 构造投资结构向量 $D = \text{diag}(d_1^1, d_2^1, \dots, d_1^s, \dots, d_j^s, \dots, d_l^s)$, 其中 d_j^s 表示 s 区域 j 产业部门固定资产投资在 s 区域投资总额中所占的比例。由此可得第二年各区域不同产业部门固定资本形成额变化向量为:

$$\Delta CF_{j(2)}^s = GD \cdot Y_{lj(1)}^s = GDH \cdot \Delta GDP_{j(1)}^s \quad (8)$$

构造消费结构向量 $K = \text{diag}(k_1^1, k_2^1, \dots, k_1^s, \dots, k_j^s, \dots, k_l^s)$, 其中 k_j^s 表示 s 区域 j 产业部门最终消费在 s 区域消费总量中所占的比例。与区域产业间的投资关联类似, 某一区域在消费本区域产品的同时, 也会拉动其他区域的消费需求, 区域间存在着消费品转移。

构造消费品转移矩阵 Q 如下:

$$Q = \left[\begin{array}{cccccccccccccccc} q_1^{11} & 0 & \dots & 0 & \dots & q_1^{r1} & 0 & \dots & 0 & \dots & q_1^{\sigma1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & q_2^{11} & \dots & 0 & \dots & 0 & q_2^{r1} & \dots & 0 & \dots & 0 & q_2^{\sigma1} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & q_l^{11} & \dots & 0 & 0 & \dots & q_l^{r1} & \dots & 0 & 0 & \dots & q_l^{\sigma1} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ q_1^{1\sigma} & 0 & \dots & 0 & \dots & q_1^{rs} & 0 & \dots & 0 & \dots & q_1^{\sigma s} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & q_2^{1\sigma} & \dots & 0 & \dots & 0 & q_2^{rs} & \dots & 0 & \dots & 0 & q_2^{\sigma s} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & q_l^{1\sigma} & \dots & 0 & 0 & \dots & q_l^{r\sigma} & \dots & 0 & 0 & \dots & q_l^{\sigma\sigma} \end{array} \right] \left. \begin{array}{l} \text{共 } l \text{ 行} \\ \text{共 } l \text{ 行} \end{array} \right\}$$

其中 $q_{ij}^{rs} = \beta_j^{rs} / V_j^s$, 表示对 s 区域 j 产业单位消费需求中来源于 r 区域消费品的数量。 β_j^{rs} 表示 s 区域 j 产业消费需求中来源于 r 区域 j 产业消费品的数量; V_j^s 表示 s 区域 j 产业的消费需求总量。

构造最终消费需求列向量:

$\Delta FC_{j(m)}^s = [\Delta fc_{1(m)}^1, \Delta fc_{2(m)}^1, \dots, \Delta fc_{1(m)}^2, \Delta fc_{2(m)}^2, \dots, \Delta fc_{j(m)}^r, \Delta fc_{(j+1)(m)}^r, \dots]^T$, 其中 $\Delta fc_{j(m)}^s$ 表示 s 区域 j 产业产值变动所引起的 j 产业最终消费额在第 m 年的变化。由此可得第二年最终消费变化列向量为:

$$\Delta FC_{j(2)}^s = QK \cdot Y_{cj(1)}^s = QKB \cdot \Delta GDP_{j(1)}^s \quad (9)$$

根据投入产出理论, 各地区不同产业总产出的第二次变动可以表示为:

$$\Delta X_{j(2)}^s = (I-A)^{-1} (\Delta CF_{j(2)}^s + \Delta FC_{j(2)}^s) \quad (10)$$

将(8)式和(9)式代入(10)式可以可得:

$$\Delta X_{j(2)}^s = (I-A)^{-1} (GDH + QKB) \Delta GDP_{j(1)}^s \quad (11)$$

国内生产总值的第二年变化为:

$$\Delta gdp_{j(2)}^s = E(I-A) \Delta X_{j(2)}^s = E(GDH + QKB) \Delta GDP_{j(1)}^s \quad (12)$$

同理, 可得第 m 年的各参数分别为:

$$\Delta X_{j(m)}^s = (I-A)^{-1} (GDH + QKB) \Delta GDP_{j(m-1)}^s \quad (13)$$

$$\Delta gdp_{j(m)}^s = E(GDH + QKB) \Delta GDP_{j(m-1)}^s \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \Delta GDP_{j(m-1)}^s &= N(I-A) \cdot \Delta X_{j(m-1)}^s = N(GDH + QKB) \Delta GDP_{j(m-2)}^s \\ &= [N(GDH + QKB)]^{(m-2)} \Delta GDP_{j(1)}^s \end{aligned} \quad (15)$$

经过 m 年后各参数变化总量分别为:

$$\begin{aligned}\Delta X_m &= \Delta X_{j(0)}^s + \Delta X_{j(1)}^s + \Delta X_{j(2)}^s + \cdots + \Delta X_{j(m)}^s \\ &= \Delta X_{j(0)}^s + A \cdot \Delta X_{j(0)}^s + (I-A)^{-1} (GDH+QKB) \{ I + \cdots + [N(GDH+QKB)]^{(m-2)} \} \Delta GDP_{j(1)}^s\end{aligned}\quad (16)$$

令 $Z = I + \cdots + [N(GDH+QKB)]^{(m-2)}$, 将该等式左右两边同乘以 $N(GDH+QKB)$, 得:

$$N(GDH+QKB)Z = N(GDH+QKB) + \cdots + [N(GDH+QKB)]^{(m-1)} \quad (17)$$

上述两式相减得:

$$Z = [I - N(GDH+QKB)]^{-1} \{ I - [N(GDH+QKB)]^{(m-1)} \} \quad (18)$$

将 (18) 式代入 (16) 式可得:

$$\begin{aligned}\Delta X_m &= (I+A) \Delta X_{j(0)}^s + (I-A)^{-1} (GDH+QKB) [I - N(GDH+QKB)]^{-1} \\ &\quad \{ I - [N(GDH+QKB)]^{(m-1)} \} \Delta GDP_{j(1)}^s\end{aligned}\quad (19)$$

$$\begin{aligned}\Delta gdp_m &= E(I-A) \Delta X_m = E(I-A) (I+A) \Delta X_{j(0)}^s + E(GDH+QKB) [I - N(GDH+QKB)]^{-1} \\ &\quad \{ I - [N(GDH+QKB)]^{(m-1)} \} \Delta GDP_{j(1)}^s\end{aligned}\quad (20)$$

设定 $C = [c_1^1, \cdots, c_l^1, \cdots, c_1^s, \cdots, c_l^s, \cdots, c_1^\sigma, \cdots, c_l^\sigma]$ 为各区域不同产业单位产出的 CO_2 排放量, 并假定各产业单位产出 CO_2 排放量不变, 其中 c_j^s 为 s 区域 j 产业单位产出 CO_2 排放量, 则 s 区域 j 产业总产出经过 m 次变动所引起的 CO_2 排放量总量的变动 $\Delta ic_{j(m)}^s$ 为:

$$\Delta ic_{j(m)}^s = C \cdot \Delta X_m \quad (21)$$

定义产业产值变动对全局碳减排的动态累积作用为产值变动所引起的国内生产总值变动总量与 CO_2 排放总量在一段时间内累积变化的比值, 该指标综合反映了所研究期限内产业部门产值变动对经济增长和碳排放的综合影响。若该值大于 1, 表明产业产值变动对碳排放总量的影响大于其对 GDP 的影响; 若该值小于 1, 表明产业产值变动对碳排放总量的影响小于其对 GDP 的影响。产业产值变动对全局碳减排的动态累积作用数值较小的产业, 越有利于降低碳强度, 该部门结构调整方案也具有更大的减排潜力。

s 区域 j 产业产值变动的碳减排敏感性 $cse_{j(m)}^s$ 为:

$$cse_{j(m)}^s = \frac{\Delta ic_{j(m)}^s}{\Delta gdp_m} \quad (22)$$

当 $m=1$ 时:

$$cse_{j(1)}^s = \frac{\Delta ic_{j(1)}^s}{\Delta gdp_1} = \frac{C(I+A) \Delta X_{j(0)}^s}{E(I+A) \Delta X_{j(0)}^s} \quad (23)$$

当 $m \geq 2$ 时, 产业产值变动对全局碳减排动态累积作用的通用表达式为:

$$cse_{j(m)}^s = \frac{C \{ I + A + (I-A)^{-1} (GDH+QKB) [I - N(GDH+QKB)]^{-1} \} \{ I - [N(GDH+QKB)]^{(m-1)} \} N(I-A) A \Delta X_{j(0)}^s}{E \{ I + A + (I-A)^{-1} (GDH+QKB) [I - N(GDH+QKB)]^{-1} \} \{ I - [N(GDH+QKB)]^{(m-1)} \} N(I-A) A \Delta X_{j(0)}^s} \quad (24)$$

(二) 产业产值变动对局部碳减排的动态累积作用

这部分主要研究一区域某一产业产值变动对各区域碳排放状况的影响。设定 s 区域 j 产业产值变动对 r 区域地区生产总值与 CO_2 排放的综合影响为局部碳减排作用, 令 s 区域 j 产业产值变动所引起的 r 区域 CO_2 排放变化总量与地区生产总值变化总量的比值为 $cse_{j(m)}^{sr}$, 以此来表示产业产值变动对局部碳减排的动态累积作用, 其中 s 与 r 可能相等。

设定产业的数量为 l , 矩阵 $E' = [0, \dots, 1, \dots, 1, 0, \dots]$ 表示第 $(r-1)l+1$ 列至第 rl 列为 1, 其他列数值为 0 的横向量, $C' = [0, \dots, 0, c'_1, \dots, c'_l, \dots]$ 是一个横向量, 它的第 $(r-1)l+1$ 列至第 rl 列为对应产业单位产出 CO_2 排放量, 其他列数值为 0, 则由 s 区域 j 产业总产出变动引起的 r 区域地区生产总值的第一轮变化量 $\Delta gdp_{jr(1)}^{sr}$ 和 CO_2 排放总量 $\Delta ic_{j(1)}^{sr}$ 为:

$$\Delta gdp_{jr(1)}^{sr} = E' (I-A) \Delta X_{j(1)}^s \quad (25)$$

$$\Delta ic_{j(1)}^{sr} = C' \cdot \Delta X_{j(1)} = C' \cdot A \cdot \Delta X_{j(0)}^s \quad (26)$$

参照全局动态累积碳减排作用的计算方法, 得到经过 m 次传导后的局部碳减排动态累积作用 $cse_{j(m)}^{sr}$ 为:

当 $m=1$ 时:

$$cse_{j(1)}^s = \frac{\Delta ic_{j(1)}^{sr}}{\Delta gdp_{jr(1)}^{sr}} = \frac{C' (I+A) \Delta X_{j(0)}^s}{E' (I+A) \Delta X_{j(0)}^s} \quad (27)$$

当 $m \geq 2$ 时, 产业产值变动对局部碳减排动态累积作用的通用表达式为:

$$cse_{j(m)}^{sr} = \frac{C' \{ I+A+(I-A)^{-1} (GDH+QKB) [I-N(GDH+QKB)]^{-1} \{ I-[N(GDH+QKB)]^{(m-1)} \} N(I-A) A \} \Delta X_{j(0)}^s}{E' \{ I+A+(I-A)^{-1} (GDH+QKB) [I-N(GDH+QKB)]^{-1} \{ I-[N(GDH+QKB)]^{(m-1)} \} N(I-A) A \} \Delta X_{j(0)}^s} \quad (28)$$

三、数据处理

本部分从全局碳减排动态累积作用和局部碳减排动态累积作用两个视角研究各区域三次产业产值变动对碳减排的动态累积作用。

根据《中国区域间投入产出表》, 将中国划分为 8 大区域: 东北区域 (包括黑龙江、吉林、辽宁), 京津区域 (包括北京、天津), 北部沿海区域 (包括河北、山东), 东部沿海区域 (包括上海、江苏、浙江), 南部沿海区域 (包括福建、广东、海南), 中部区域 (包括山西、河南、安徽、湖北、湖南、江西), 西北区域 (包括内蒙古、陕西、宁夏、甘肃、青海、新疆) 和西南区域 (包括四川、重庆、广西、云南、贵州、西藏)。

(一) 区域产业部门间投资消耗系数的计算

目前我国并没有对产业的投资品来源于哪些产业部门进行统计, 因此需要采取一定的方法估计。依据 g_{ij}^{rs} 的含义, 计算区域产业间投资消耗系数, 具体方法为:

$$\begin{aligned} \min & \left[\sum_{s=1}^{\sigma} \left(cf_j^s - \sum_s \sum_{j=1}^l g_{ij}^{rs} I_j^s \right)^2 \right] \\ \text{s.t.} & \sum_s \sum_{j=1}^l g_{ij}^{rs} = 1 \\ & g_{ij}^{rs} \geq 0 \end{aligned} \quad (29)$$

将 2007 年的“按主要行业分的全社会固定资产投资额”按照行业划分标准和区域划分标准合并为三次产业 8 大区域, 得到各区域三次产业固定资产投资额; 将 2007 年的区域间投入产出表合并为三次产业, 得到各区域三次产业固定资本形成额。将数据代入 (29) 式可得投资消耗系数。

(二) 不同区域各产业单位产出 CO_2 排放量的计算

碳排放数据采用《中国能源统计年鉴 2008》中的终端能源消费数据进行计算, 并采用 IPCC (International Panel on Climate Change) 组织发布的碳排放换算系数。由于各区域能源分行业

统计数据的缺失,各区域不同部门碳排放强度暂时采用全国水平。

(三) 其他参数的计算

目前最新的区域间投入产出表为国家信息中心编制的 2007 年中国八大区域 17 部门投入产出表。将该表合并为三次产业部门区域投入产出表,利用该表依据各参数的基本含义计算各区域产业部门间中间消耗系数矩阵 A 及消费结构向量 K 和消费品转移系数矩阵 Q 。以“支出法地区生产总值”计算分地区投资额和消费额;以 2007 年各区域投资比率作为投资倾向,以 2007 年各区域消费率作为消费倾向。

四、实证结果

以 2007 年为初始年份,设定各区域产值变动 1%,即 $\mu_j^s = 1\%$,其中 $s = 1, 2, \dots, 8; j = 1, 2, 3$, 研究区域三次产业产值变动对各区域以及全国碳强度的影响。假定研究期间,生产消耗系数 A 、区域间投资品转移矩阵 G 、区域间消费品转移矩阵 P 、投资结构 D 、消费结构 K 、各产业单位产出 CO_2 排放量 C 、投资倾向 H 和消费倾向 B 均不发生变化,将相关参数代入(23)式和(24)式计算产业结构变动对全局碳减排的动态累积作用,结果如表 2 所示。将相关参数代入(27)式和(28)式计算产业产值变动对局部碳减排的动态累积作用,结果见表 3—表 5。

表 2 产业产值增加 1%对全局碳减排的动态累积作用 单位:万吨 CO_2 /亿元

	第一产业			第二产业			第三产业		
	$m = 1$	$m = 5$	$m = 10$	$m = 1$	$m = 5$	$m = 10$	$m = 1$	$m = 5$	$m = 10$
东北区域	0.40270	0.62760	0.46795	1.14114	1.04345	1.10844	0.43151	0.64107	0.49166
京津区域	0.38245	0.62566	0.47492	1.12547	0.99981	1.08815	0.40108	0.62985	0.48809
北部沿海区域	0.41157	0.59185	0.46948	1.14035	1.03131	1.11097	0.44332	0.61206	0.49827
东部沿海区域	0.41138	0.61771	0.46032	1.15252	1.06541	1.12431	0.41145	0.63783	0.46665
南部沿海区域	0.38096	0.56846	0.41953	1.15631	1.08684	1.13574	0.39477	0.58654	0.43347
中部区域	0.38680	0.61486	0.45019	1.12734	1.03861	1.09718	0.42295	0.63948	0.48336
西北区域	0.39742	0.63610	0.48902	1.12546	0.99284	1.08145	0.42208	0.64555	0.50644
西南区域	0.36538	0.61214	0.46070	1.11989	0.98728	1.07748	0.42157	0.64382	0.50753

资料来源:经测算得到。

表 2 反映了各区域三次产业产值变动对全国碳强度的即期影响(1 年)、中期影响(5 年)和长期影响(10 年)的累积值。从结果来看,不管是产业产值变动对全局碳减排的近期效应还是远期效应,对于各区域来说均是第一产业产值增加 1%所产生的碳减排敏感性最大,其次为第三产业,而第二产业产值增加对于绝大多数地区来说都不利于降低碳强度。

从地理空间上看,当 $m = 1$ 时,第一产业总产出增加对降低碳强度的影响效力最大的为西南区域,其产出增加 1%所产生的碳减排作用数值为 0.36538,其次为南部沿海区域和中部区域,全局碳减排作用分别为 0.38096 和 0.38680,北部沿海区域第一产业产值变动对碳减排的作用最小,作用力数值为 0.41157。第二产业总产出增加对碳减排的影响效力最大的为西南区域,碳减排作用力为 1.11989,其次为西北区域和京津区域,所测算的碳减排作用力数值分别为 1.12546 和 1.12547,而南部沿海区域第二产业产出增加最不利于碳减排。第三产业总产出增加对降低碳强度影响效力最大的为南部沿海区域,其碳减排作用为 0.39477;其次为京津区域和东部沿海区域,其碳减排作用分别为 0.40108 和 0.41145;较其他区域而言,北部沿海区域第三产

业产值增加对降低全国碳减排的作用最为微弱。这一结果的产生取决于两个方面的因素,一是产业产出变动对全国经济增长的贡献,二是产业产出对 CO₂ 排放量的贡献。对经济增长率贡献大,而对 CO₂ 排放贡献小的产业,其发展对于碳减排作用较大,该产业部门产值调整也具有较大的碳减排潜力。当 $m=5$ 时,第一产业产出增加对降低碳强度的影响效力最大的为南部沿海区域,其碳减排作用为 0.56846,其次为北部沿海区域,碳减排作用为 0.59185;第二产业产出增加对降低碳强度影响效力最大的区域为西南区域,碳减排作用为 0.98728,最小的区域为南部沿海区域;第三产业产出增加对降低碳强度影响力最大的为南部沿海区域,碳减排作用为 0.58654,西北区域第三产业发展对降低碳强度的作用最小。当 $m=10$ 时,南部沿海区域第一产业产值变动的碳减排作用数值最小,其产值增加对降低碳强度的作用最大,其次为中部区域,西北区域产值增加最不利于全局碳强度的降低。南部沿海区域第二产业产值增加最不利于碳强度的降低,而该区域第三产业产值增加对降低碳强度的促进作用最大。因此,从 5 年内和 10 年内的累积效果来看,南部沿海区域的产业发展和产业结构调整对于我国碳减排具有十分重要的作用,相比较来说,该区域具有最大的碳减排潜力。

表 3 反映了区域各产业产值变动对该区域和其他区域碳强度的即期影响。

表 3 当 $m=1$ 时产业产值增加 1%对局部碳减排的作用 单位:万吨 CO₂/亿元

区域	产业	东北区域	京津区域	北部沿海区域	东部沿海区域	南部沿海区域	中部区域	西北区域	西南区域
东北区域	1	0.38845	1.11516	1.08097	1.19886	1.20190	1.07999	1.08664	1.10455
	2	1.13870	1.14096	1.18636	1.20241	1.20773	1.19472	1.18584	1.17704
	3	0.41294	0.73666	0.98360	1.15884	1.20109	1.14583	1.13007	1.18247
京津区域	1	0.69382	0.34598	0.54587	1.08222	0.98874	0.64279	0.61674	0.61723
	2	1.09561	1.13841	1.03334	1.10471	1.15508	0.98967	0.91783	0.94053
	3	1.09185	0.35749	0.86089	1.09755	1.16626	0.93507	0.88317	0.99592
北部沿海区域	1	0.72758	0.95010	0.38725	1.16101	1.09024	0.77617	0.60800	0.62804
	2	1.08661	0.93142	1.14711	1.16327	1.17105	1.12223	0.93227	0.95344
	3	1.10747	0.54730	0.41678	1.05571	1.14777	1.06168	0.83674	0.97220
东部沿海区域	1	1.00350	1.06457	0.90552	0.38820	1.09450	0.82458	0.85196	0.86944
	2	1.17801	1.08955	1.16387	1.15406	1.18207	1.09659	1.13063	1.12822
	3	1.12231	0.56457	0.78155	0.39750	1.04619	0.84528	0.83288	0.86737
南部沿海区域	1	1.10822	0.91233	1.01179	1.12370	0.34857	0.95557	1.04393	1.06609
	2	1.19402	1.14581	1.15714	1.17921	1.15546	1.15687	1.14224	1.15851
	3	1.16712	0.82856	0.92142	1.08775	0.36836	1.05367	1.00272	1.08606
中部区域	1	0.91575	0.94709	0.86810	1.10643	1.07101	0.36282	0.78299	0.84824
	2	1.15192	0.99755	1.10265	1.13925	1.13068	1.12949	1.02798	1.01255
	3	1.13581	0.67625	0.83548	1.06141	1.07795	0.38650	0.90731	0.98611
西北区域	1	0.97572	0.96702	0.86759	1.15275	1.12413	0.87095	0.35857	0.87436
	2	1.08627	0.74477	1.01989	1.10239	1.15889	1.09754	1.13288	1.01328
	3	1.11129	0.59150	0.70379	0.98837	1.13571	0.94338	0.37643	0.99807
西南区域	1	1.07800	0.95661	0.99291	1.16586	1.11501	0.90468	0.97256	0.35056
	2	1.17321	0.78496	1.06884	1.12406	1.14743	1.07822	1.03348	1.12103
	3	1.16045	0.51164	0.70492	1.01409	1.13003	0.88187	0.87575	0.38131

资料来源:经测算得到。

从产业产值变动对本区域碳强度的影响效力的研究结果来看,各区域碳强度受本区域第一产业产值变动的影响较大,碳减排敏感性在 0.39 以下,其次为第三产业,而第二产业产值增加会使其所在区域碳强度提高。因此各区域降低其自身碳强度的最有效的手段是发展

第一产业和第三产业,同时抑制第二产业的发展。从各区域产业结构变动碳减排潜力来看,京津区域第一产业和第三产业产值增加对于该区域碳减排的促进作用最大。从各区域三次产业产值变动的溢出效应来看,除了第三产业产出增加能够在一定程度上降低京津区域和北部沿海区域的碳强度外,东北区域产业产值增加均不利于其他区域碳强度的降低。京津区域三次产业产出增加均不利于东部沿海区域降低碳强度,而对中部区域、西北区域和西南区域来说,京津区域三次产业增加对这些区域碳强度降低均有积极的促进作用。北部沿海区域三次产业产值增加对京津区域、西北区域和西南区域碳强度降低均起促进作用,其中该区域第三产业产值增加对京津区域碳强度降低的溢出效应最大,测算的碳减排作用为 0.5473,第一产业产值增加对西北区域碳强度降低的作用最大,碳减排作用为 0.608。东部沿海区域第一产业产值增加对北部沿海区域、中部区域、西北区域和西南区域碳强度的降低起到积极的促进作用,而第三产业产值增加有利于京津区域、北部沿海区域、中部区域、西北区域和西南区域碳强度的降低。南部沿海区域第一产业产值增加有利于京津区域和中部区域碳强度降低,第三产业产值增加会提高除了京津区域和北部沿海区域外其他区域的碳强度。中部区域、西北区域和西南区域三次产业产值增加均有利于京津区域碳强度的降低,但不利于东部沿海区域和南部沿海区域降低碳强度。

表 4 反映了区域各产业产值变动对所在区域和其他区域碳强度在 5 年内的累积作用效果。

表 4		当 $m=5$ 时产业产值增加 1%对局部碳减排的作用							单位:万吨 CO ₂ /亿元
区域	产业	东北区域	京津区域	北部沿海区域	东部沿海区域	南部沿海区域	中部区域	西北区域	西南区域
东北区域	1	0.51770	0.77258	0.97758	0.97479	0.99789	0.91309	0.88841	0.87399
	2	1.08842	0.80041	0.99707	0.98369	1.01628	0.93001	0.90820	0.87631
	3	0.53408	0.76076	0.97309	0.97744	1.01266	0.91644	0.88870	0.88429
京津区域	1	0.77700	0.44112	0.81250	0.98109	0.99341	0.88945	0.83513	0.84611
	2	0.79786	1.07794	0.99049	0.99546	1.02345	0.93219	0.89606	0.87643
	3	0.78612	0.44950	0.94474	0.98814	1.02007	0.92443	0.89356	0.87971
北部沿海区域	1	0.79666	0.80060	0.44930	0.97886	0.96738	0.87844	0.80965	0.81267
	2	0.81311	0.81297	1.12451	0.97569	0.97887	0.94999	0.86226	0.83938
	3	0.81078	0.74973	0.47688	0.96645	0.97817	0.92033	0.85251	0.84178
东部沿海区域	1	0.77051	0.75227	0.97216	0.53821	1.02867	0.91346	0.88486	0.88772
	2	0.77333	0.77951	1.00597	1.12176	1.05674	0.98679	0.94323	0.93217
	3	0.76550	0.73650	0.97049	0.56696	1.02755	0.93098	0.88521	0.89109
南部沿海区域	1	0.88215	0.74225	0.97390	1.03889	0.45442	0.94902	0.91357	0.95508
	2	0.90246	0.78199	1.00080	1.06998	1.12969	1.00509	0.94423	0.97411
	3	0.88883	0.75937	0.96943	1.04074	0.47813	0.96350	0.90454	0.93356
中部区域	1	0.85458	0.70165	0.96962	1.02898	1.02204	0.47585	0.88826	0.89300
	2	0.87466	0.71035	1.00011	1.04032	1.03443	1.09209	0.91913	0.90810
	3	0.86703	0.70001	0.96477	1.02637	1.02592	0.49728	0.90109	0.90480
西北区域	1	0.83191	0.66653	0.94951	0.99396	1.00897	0.91216	0.43851	0.88270
	2	0.83471	0.66248	0.96814	0.99353	1.02257	0.94404	1.09071	0.89859
	3	0.84026	0.66042	0.93477	0.98523	1.02192	0.91963	0.45106	0.89865
西南区域	1	0.82246	0.65170	0.95003	0.97976	1.00961	0.90915	0.89409	0.40784
	2	0.83309	0.65254	0.95530	0.98387	1.03119	0.92341	0.90224	1.08635
	3	0.83713	0.65115	0.94131	0.97998	1.02565	0.90875	0.89008	0.43679

资料来源:经测算得到。

北部沿海区域三次产业产出增加有助于南部沿海区域降低碳强度,东北区域和京津区域第一产业产出增加也对南部沿海区域降低碳强度具有微弱的促进作用。除此之外,各区域对南部沿海区域碳减排敏感性的溢出值均大于 1,表明这些区域产出增加不利于南部沿海区域降低碳强度。南部沿海区域和中部区域产业发展不利于东部沿海区域实现碳减排目标,而其他区域自身碳减排目标下的产业结构调整方案均对东部沿海区域碳减排有促进作用。除了东部沿海区域和南部沿海区域外,各区域受到的其他区域产出增加所产生的碳减排作用数值都小于 1,不会受到其他区域产业结构调整的不利影响。东部沿海区域和南部沿海区域容易受到其他区域产业结构调整影响从而增加碳强度,原因在于这两个区域经济发达、产业齐全、产品质量好,能够更好地满足其他区域的中间需求、投资需求和消费需求。从总体上看,除了京津区域、西北区域和西南区域外的所有区域均会受到其他区域以产业结构调整方式降低碳强度举措的不利的影响。因此,对于各区域来说,如果不主动采取措施调整产业结构以降低碳强度,就会在其他区域产业结构调整政策的实施中处于被动位置,面临不利于碳减排的局面。

表 5 反映了区域三次产业产值变动对各区域碳强度在 10 年内的累积作用。

表 5 当 $m=10$ 时产业产值增加 1%对局部碳减排的作用 单位:万吨 CO_2 /亿元

区域	产业	东北区域	京津区域	北部沿海区域	东部沿海区域	南部沿海区域	中部区域	西北区域	西南区域
东北区域	1	0.40527	0.79870	0.98966	1.02031	1.03271	0.94680	0.93596	0.92978
	2	1.12714	0.86340	1.05386	1.03939	1.080150	0.99518	0.99134	0.93892
	3	0.42861	0.75521	0.97046	1.02351	1.07101	0.95681	0.93813	0.96342
京津区域	1	0.80604	0.35830	0.65056	1.01694	1.00240	0.84666	0.75440	0.80438
	2	0.92448	1.12746	1.01623	1.03246	1.06076	0.95115	0.89882	0.88463
	3	0.89972	0.36832	0.90723	1.02119	1.05164	0.93154	0.88540	0.88868
北部沿海区域	1	0.82802	0.83060	0.39672	1.04464	1.01727	0.85508	0.73520	0.77696
	2	0.90450	0.83947	1.14386	1.04837	1.05624	1.04090	0.90634	0.89525
	3	0.90322	0.62974	0.42596	1.01791	1.04468	0.98376	0.86794	0.89487
东部沿海区域	1	0.87515	0.78968	0.95280	0.39868	1.02003	0.86025	0.87099	0.87186
	2	0.90553	0.81231	1.03780	1.15109	1.07783	1.03948	1.00041	0.96975
	3	0.88052	0.72906	0.94282	0.40909	1.01427	0.89371	0.87066	0.87238
南部沿海区域	1	0.89117	0.77258	0.97991	1.05174	0.35480	0.94471	0.95727	1.02123
	2	0.93633	0.84023	1.05483	1.12317	1.15373	1.08437	1.02854	1.07683
	3	0.90609	0.76966	0.95647	1.04855	0.37455	0.98946	0.93016	0.98666
中部区域	1	0.85984	0.77167	0.93432	1.04434	1.02154	0.37141	0.84942	0.86474
	2	0.90167	0.79161	1.03776	1.07161	1.06039	1.12589	0.94913	0.91865
	3	0.89297	0.74598	0.91875	1.03335	1.03498	0.39513	0.89466	0.90874
西北区域	1	0.87059	0.78532	0.93029	1.03557	1.03279	0.91227	0.36832	0.87385
	2	0.88199	0.75743	0.99185	1.03091	1.06809	0.99948	1.12740	0.92745
	3	0.89423	0.71685	0.87497	1.00379	1.06305	0.93445	0.38564	0.92710
西南区域	1	0.86439	0.76324	0.96947	1.01914	1.02968	0.92729	0.90167	0.35762
	2	0.88772	0.76148	0.98730	1.02651	1.08068	0.96895	0.93920	1.11688
	3	0.89425	0.73144	0.92747	1.00960	1.06770	0.92054	0.88179	0.38833

资料来源:经测算得到。

从区域产值变动对其所在区域的影响来看,同产业产值变动对碳减排的即期作用、中期作用一样,第一产业产值增加对碳强度在 10 年内的累积作用最大,其次为第三产业,而发展第二产业会促使碳强度提高。产业产值增加对碳减排促进作用最大的区域和产业为:南部沿海区域的第一产业和京津区域的第三产业。从区域产业产值增加对其他区域碳强度的影响来看,各区域三次产业产值增加均不利于东部沿海区域和南部沿海区域碳强度的降低。对于其他多数区域来说,区域三次产业产值增加对区域碳强度的降低起到促进作用。

五、结论与启示

产业产值变动以碳排放量与 GDP 为中间变量,对碳强度具有一定的决定作用。探索具体产业部门产值变动对于碳强度变化作用力的大小,对于碳减排目标下的产业结构调整方案的制定和具体实施具有重要的作用。本文从区域产业间相互作用机制入手,考量了区域产业结构变动对全局碳减排和局部碳减排在不同时间段内的累积作用,并以 2007 年中国区域间投入产出表数据为基础,测算了区域产业产值变动对我国碳减排作用以及各区域碳减排作用的动态累积影响。本文得到的基本结论如下:

(1) 区域产业产值变动对各区域以及区域总体碳强度的动态影响过程可以概括如下:一是一区域某个产业产值变化通过区域产业间的中间需求关联引发各区域相关产业中间需求量的变化;二是在产出能力不受限制和不考虑进出口的条件下,产业实际产出由中间需求、最终消费需求和固定资本形成三方面组成。因此,区域各产业中间需求的变化会直接引发各区域相关产业产值的新变化;三是产业产值发生变化后,各区域的地区生产总值也会发生相应变化;四是地区生产总值的一部分用于新增投资,另一部分用于消费。在新增投资和消费过程中,不仅要消耗本区域的相关产品,也会构成对其他区域产业的需求,进而引发各区域相关产业总产出的再一次变化。上述过程周而复始,从而使得与产业产出密切相关的碳排放总量、区域总体生产总值和地区生产总值发生动态变化。这是本文数理模型推导的基础。

(2) 我国 8 大区域三次产业产值增加对我国总体碳强度影响的一般特征为:第一产业产值增加对于降低碳强度的促进作用最大,第三产业产值增加的碳减排作用稍逊于第一产业,而第二产业产值增加对于 GDP 的贡献要小于其对 CO_2 排放总量的影响。产业产值变动对我国总体碳强度的这一累积影响不会随着时间的推移发生变化。但是,各区域三次产业产值变动对碳减排的影响力在不同的时间段内累积效应呈现不同的特征。具体表现为:从即期效应来看,西南区域第一产业和第二产业、南部沿海区域第三产业产值变动对碳减排的促进作用较大。随时间的累积,第一产业和第三产业产值变动的碳减排作用逐渐提高的区域变更为南部沿海地区。从中长期累积作用来看,该地区成为碳减排潜力最大的区域。

(3) 我国 8 大区域三次产业产值变动对其自身区域碳减排的作用在空间上和时间上均存在着比较大的差异,对于其他区域碳减排也存在着明显的溢出效应。从即期效应来看,京津区域第一产业和第三产业产值变动对其自身碳减排的影响最大,而从 5 年内和 10 年内的累积效应来看,第一产业和第三产业碳减排潜力最大的区域分别为西南区域和南部沿海区域。从溢出效应来看,由于与其他区域的中间需求、投资需求和消费需求关联程度均较高,

东部沿海区域和南部沿海区域容易受到其他区域产业结构调整的不利影响。对于其他区域的第一产业和第三产业而言,产值增加一般具有正向的溢出效应。

不管是对全国碳减排、还是地区碳减排,我国各区域产值变动的动态累积碳减排效应都存在着明显的区域特征,因此应根据各区域之间的异质性特征,制定并实施差别化的产业结构调整方案和政策,以促进全国和区域碳减排目标的实现。从长期来看,全国碳减排目标下产业结构调整最为有效的区域为南部沿海区域和东部沿海区域。此外,对于各区域而言,由于区域间交互作用的存在,通过产业结构调整来实现碳减排的过程中也要考虑其他区域产业发展的制约和影响。由此可见,挖掘区域产值变动对全国、发生产值变动的区域自身以及其他区域的碳减排的动态累积作用,不但有助于实现我国的碳减排目标,有效引导碳减排任务在不同区域间的合理分配,而且有助于区域经济的协同发展。

当然本文的研究也有一定的局限,首先为了研究产业产值变动对碳减排的动态累积作用,本文假定中间消耗系数矩阵 A 、投资品转移系数矩阵 G 、消费品转移系数矩阵 P 、消费结构 K 、消费倾向 B 、投资倾向 H 和投资结构 D 相关参数在研究期间不发生变化;其次是在研究各区域产业产值变动的累积作用时,本文假定其他区域不主动进行产业结构调整。考虑到前五个参数具有一定的稳定性,不易调整,而投资结构和投资倾向具有比较容易的可调控性,因此,投资政策的实施必然会使本文的研究结果发生相应的变化,这些将在后续研究中进一步考察。

参考文献:

- 曹珂、屈小娥,2014:《中国区域碳排放绩效评估及碳减排潜力研究》,《中国人口·资源与环境》第8期。
- 范丹、王维国,2010:《中国产业能源消费碳排放变化的因素分解——基于广义GFI的指数分解》,《系统工程》第11期。
- 郭朝先,2012:《产业结构变动对中国碳排放的影响》,《中国人口·资源与环境》第7期。
- 郝珍珍、李健,2013:《我国碳排放增长的驱动因素及贡献度分析》,《自然资源学报》第10期。
- 刘红光、刘卫东、唐志鹏,2010:《中国产业能源消费碳排放结构及其减排敏感性分析》,《地理科学进展》第6期。
- 王锋、吴丽华、杨超,2010:《中国经济发展中碳排放增长的驱动因素研究》,《经济研究》第2期。
- 孙立成、程发新、李群,2014:《区域碳排放空间转移特征及其经济溢出效应》,《中国人口·资源与环境》第8期。
- 张伟、王韶华、初钊鹏、高睿,2014:《产业投资变动与边际碳生产力的作用关系及实证研究》,《统计与信息论坛》第5期。
- Hetherington, R.1996.“An Input-output Analysis of Carbon Dioxide emissions for the UK.” *Energy Conversion and Management* 37(6-8):979-984.
- Munksgaard, J., and K. A. Pedersen. 2001. “CO₂ Accounts for Open - economies: Producer or Consumer Responsibility?” *Energy Policy* 29(4):327-334.
- Leontief, Wassily W.1996.*Input-Output Economics*. Oxford: Oxford University Press.
- Lu, Shyi-Min, Lu Ching, Tseng Kuo-Tung, Falin Chen, and Chen-Liang Chen.2013.“Energy-saving Potential of the Industrial Sector of Taiwan.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 21(May):674-683.
- Rhee, H.C., and H.S.Chung.2006.“Change in CO₂ Emission and Its Transmissions between Korea and Japan Using International Input-output Analysis.” *Ecological Economics* 58(4):788-800.

Carbon Reduction Effect of Industrial Structure Change: Dynamic Accumulation and Spatial Differences

Zhang Wei¹ and Wang Shao-hua²

(1:Northeastern University at Qinhuangdao School of Economics; 2:Yanshan University
School of Economics and Management)

Abstract: A mathematical model, which can reflect the dynamic relationships between output changes of different industrial sectors in each area and carbon emissions of every area, is constructed in this paper. Using the model, global and local dynamic cumulative effects of industrial changes in regions on carbon emission are empirically studied. The results show that the role in reducing the carbon intensity of the first industry output increase is slightly larger than the third industry, while the second industry contribution to GDP is less than its effect on total CO₂ emissions. From the spot effect, industrial output increase of the first and second industry in the southwest area plays a larger role in carbon emissions reduction. Output changes of the third industry in the southern area have a larger carbon reduction effect. There is also a larger dynamically cumulative effect in this area on the achievement of national carbon reduction targets. Industrial restructure in Beijing-Tianjin area has the largest carbon emission reduction potential in a short period, but the southwest and southern areas have more significant cumulative effects in the long term because of their largest potential for carbon reduction in the industrial structure changes. Carbon emissions situations of the eastern area and the southern area are vulnerable to the adverse effects of industrial restructuring in other regions.

Keywords: Changes of Industry Output, Carbon Emissions, Dynamically Cumulative Effects, Inter-regional Input-output Relationships

JEL Classification: Q57, C67, D57

(责任编辑:孙永平、陈永清)

(上接第 30 页) industrial green transformation. The intrasectoral and intersectoral change of China's industrial green transformation are investigated in this paper. Using the complete decomposition method of Sun (1998), emission of industrial waste gas and water are decomposed into scale effect, intensity effect and structure effect. The results show that intrasectoral green change is the main driving force in reducing pollution discharge and the contribution of intersectoral change is smaller, but its effects on cutting down waste air are more obvious. Furthermore, through building a panel VAR model, the paper tests the impacts of industrial pollution treatment, clean production fees and pollution abatement through "3S" projects on China's industrial green transformation. The paper finds that clean production investment and "3S" projects are more helpful in driving intrasectoral change. However, the driving effects of three kinds of pollution control methods on intersectoral change are mainly reflected on the change of output value of medium pollution industry. And pollution control investment on high pollution industry, especially for industrial waste gas emission needs to be further strengthened.

Keywords: Industrial Green Transformation, Emission Reduction, Pollution Abatement, Panel VAR

JEL Classification: C3, Q5, L6

(责任编辑:彭爽)