

碳排放交易制度下的低碳经济发展

——基于非期望 DEA 与 DID 模型的分析^①

王 钊, 王良虎

西南大学 经济管理学院, 重庆 400715

摘要: 利用 Malmquist-Luenberger 指数方法测算我国 2004—2016 年低碳经济全要素生产率增长, 在测算出各省份低碳经济全要素生产率增长的基础上, 利用 DID(difference in difference)模型检验碳排放交易制度对低碳经济全要素生产率增长的政策效应。通过模型检验的结果分析, 得出碳排放交易制度对发展低碳经济起到正向作用的结论, 其中主要是由于碳排放交易制度提高了技术效率, 从而促进低碳经济增长。但是, 由于碳排放交易制度在我国的推行尚处于初级阶段, 其对发展低碳经济的作用较小。并且在对政策效应进行时间趋势检验时发现, 政策效应呈现出倒“U”型结构, 由此说明政策效应有一定的滞后性, 并且伴随着时间的推移有所减弱。该文提出应从扩大碳排放交易范围、规范政府行为以及综合多种减排方式等方面促进低碳经济发展。

关键词: Malmquist-Luenberger 指数; DID 模型; 低碳经济

中图分类号: F290

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2019)05-0085-11

自 1992 年联合国环境和发展会议指出, 把国内生产总值(GDP)作为经济可持续发展的指标具有局限性, 2003 年英国在发布的能源白皮书《我们能源的未来: 创建低碳经济》中首次提出“低碳经济”这一概念, 明确了低碳经济是低能耗、低污染的具有可持续性发展的经济类型。但是, 伴随着经济快速发展导致了温室气体大量排放, 由此引发了全球气候变暖、极端天气频发等问题成为经济可持续发展的重要障碍。在资源日趋耗竭、环境质量下降的情形下, 怎样合理评价经济, 增长对于经济发展方式具有重要的指导作用。随着中国经济步入新常态, 国家低碳发展也进入到深刻变革的新阶段。2016 年 3 月 17 日, “第五届中国低碳发展论坛暨新书发布会”发布了《中国低碳发展报告 2015—2016》。该报告指出, “十二五”以来中国低碳发展进入攻坚克难的关键阶段, 经济增速由高速阶段向中高速阶段转变, 这对中国低碳发展具有直接影响和长远意义。十八届五中全会把“绿色发展”作为我国发展全局的五大理念之一, 并指出要推动建立绿色低碳循环发展。发展低碳经济是我国经济绿色转型、建设生态文明的必由之路。自联合国出台《联合国气候变化框架公约》与《京都议定书》以来, 碳排放交易制度就逐渐在许多国家开始实施。我国借鉴其他国家节能减排方式, 在 2013 年先后对北京、上海、广东、重庆等 7 个省市进行碳排放交易制度试点。运用市场方法是进行节能减排的一项重大创新, 以期实现经济发展的可持续目标。

随着环境与经济发展之间矛盾越来越突出, 环境与经济之间的协调问题成为人们关注的焦点。自“低碳经济”这一概念提出以来, 国内外学者对发达国家发展低碳经济进行了持续关注和深入研究。Soy-

① 收稿日期: 2018-05-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(71473205); 重庆市研究生科研创新项目(CYS18080)。

作者简介: 王 钊(1957-), 男, 博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事产业组织理论研究。

tas 等^[1]以美国为研究对象,运用向量自回归模型 VAR(Vector Auto-regressive)分析了 GDP、能源消耗和碳排放量之间的关系,得出碳排放量的格兰杰原因是能源消耗,而不是 GDP 增长. 张丽峰^[2]通过研究发现经济增长与能源消耗之间的关系是相互依存,也即是在经济发展过程当中要消耗大量的能源. 随着对低碳经济进一步深入研究,测算低碳经济效率显得尤为重要. Fankhauser^[3]和 Xue 等^[4]从不同角度对低碳经济效率进行了分析及实证测度. 杨颖^[5]运用 DEA(Data Envelopment Analysis)的方法测算了四川省低碳经济的发展情况与投入产出水平. 周泽炯等^[6]使用非期望产出的 Super-SBM(Super-Slack Based Measure)模型研究了 15 个地级市低碳经济绩效的变化和其生产前沿面之间的关系,并给出提高低碳经济发展的相关建议. 雷明等^[7]基于 DEA 与 GML(Global Malquist Luenberger)指数计算了中国 1998—2013 年低碳经济的发展状况,并且运用面板 VAR 模型分析了低碳经济增长的动态作用机制. 刘翔等^[8]运用非期望产出的 SBM-DEA 模型评估了我国 2000—2012 年低碳经济发展效率,发现从“十二五”规划之后低碳经济发展效率逐渐提高. 谢志祥等^[9]构建低碳经济发展绩效评价指标体系,运用 Malmquist-Luenberger 全要素生产率指数测算了 2000—2014 年我国低碳经济发展绩效. 马大来等^[10]建立 SBM 模型测算各省份的低碳经济增长效率,并分析了区域差异与空间相关性. 郑宝华等^[11]采用超效率 DEA 模型测算我国区域低碳经济效率,并分析了区域低碳经济效率的时空演变特点.

目前,碳排放交易制度是西方发达国家实行节能减排的主要措施并取得显著效果,中国借鉴其方法从 2013 年开始在部分省市实行碳排放交易试点. 碳排放交易制度最早是由美国经济学家 Dales^[12]在 1968 年提出,其主要目的是将二氧化碳排放成本内部化. 随着理论深入发展,许多学者对碳排放交易制度进行了进一步深入研究. Klaassen 等^[13]通过拍卖情形下的博弈分析,得出碳排放交易制度可以达到市场均衡状态,并能取得经济效率最大化. Färe 等^[14]把碳排放交易制度中的排放权引入到 DEA 模型之中,丰富了交易权的形式,充分考虑了实施碳排放交易制度对经济与环境的影响. 随着国外研究逐渐成熟,我国部分学者也开始对其进行研究. 如崔连标等^[15]通过构建无碳交易市场、仅试点地区和全国碳交易市场体系 3 种省际排放权交易模型,量化模拟了碳交易机制在实现各省减排目标过程中所发挥的成本节约效应. 汤铃等^[16]构建了一个碳交易仿真模型估算碳交易对经济环境的影响,发现碳排放交易机制有效地降低了二氧化碳排放量. 沈洪涛等^[17]从微观角度研究了碳排放交易制度对企业减排的效果. 黄志成等^[18]研究了碳排放交易制度差异下的国际供应链生产计划问题,为地区内碳排放交易制度的制定提供了理论依据.

上述文献为研究低碳经济提供了一定的理论依据,但相对地研究了低碳经济的测算,鲜有研究对低碳经济增长进行系统比较分析. 本文在已有的研究基础上,首先运用 Malmquist-Luenberger 指数测算了我国低碳经济全要素生产率增长,并运用 DID 模型分析在实施碳排放交易试点地区与非试点地区低碳经济发展的差异性,量化碳排放交易制度对低碳经济发展的影响.

1 发展低碳经济必然选择与其测算方法

1.1 发展低碳经济必然选择

低碳经济是指在技术创新与制度创新基础上,减少能源消耗以致最大限度地降低温室气体和污染物排放,实现经济和社会可持续发展. 低碳经济的实现主要从“入口”与“出口”2 个环节加以控制,所谓“入口”环节指的是在经济发展过程中使用太阳能、风能等可再生能源来替代传统的化石能源;而“出口”环节则是通过碳捕获与封存技术、碳排放交易制度等进行污染物排放控制. 当前由于技术水平的限制,在开发新能源方面短期内很难有重大突破. 据国际能源署的研究报告显示,2030 年全球能源需求量将比 2006 年增加 35%~50%,可再生能源仅仅占总能源消费的 20%左右,由此导致减排任务难以完成. 因此,目前“出口”环节当中的碳排放交易制度越来越受到国际社会的关注.

碳排放交易制度的本质是认为环境容量是一种稀缺资源,在总量控制的前提下使排污资格产权化,通过市场手段达到高效率配置. 其主要作用是为经济体提供稳定的价格信息,增强经济体温室气体排放的社

会成本, 以实现减排目标. 环境质量下降主要是因为其具有公共财产的特性, 若没有明确产权界定很容易引起“公共地悲剧”发生. 碳排放交易制度是解决环境容量产权问题的有益尝试, 通过对碳排放的产权分配, 控制二氧化碳等温室气体排放. 碳排放交易制度还具有刺激技术进步以减少碳排放的作用, 由于技术进步使经济主体提高能源利用效率, 减少碳排放以换取出售更多的碳排放权, 由此形成良性循环, 提高整体经济发展的可持续性.

由于在“入口”环节受到目前技术水平的约束使低碳经济发展受到制约, 而“出口”环节当中的碳排放交易制度对节能减排的作用尤为突出. 因此应建立中国特色碳排放交易制度, 积极参与到全球碳交易市场当中去, 促进人类社会向低碳经济方向发展.

1.2 测算方法

本文在已有的文献研究基础上, 利用数据包络分析的 Malmquist 生产指数方法测算我国低碳经济发展状况. 数据包络分析的 Malmquist 生产指数方法具有同时模拟多种产出与多种投入的生产过程, 并且不必设定生产前沿面生产函数形式的优点, 因此避免了参数化方法导致的模型设定出现误差, 以及有可能出现随机干扰项不服从正态分布的假定情形. 通过对相关文献的研究发现, 基于数据包络分析的 Malmquist 生产指数方法对低碳经济测算时大多数将劳动力、能源消耗、GDP 和碳排放包含在内, 而没有把植树造林等环境保护措施考虑进来, 因此不能全面地度量低碳经济的发展. 雷明等^[19]在关于低碳经济转型的研究中把“植树造林面积”作为一种非期望投入来综合评价低碳经济转型的发展. 借鉴其方法, 本文将低碳经济全要素生产率增长定义为劳动力、资本、能源消耗、GDP、碳排放以及植树造林面积的函数, 为

$$ML = F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$$

式中: ML 表示低碳经济全要素生产率增长; x_1 表示劳动力; x_2 表示资本; x_3 表示能源投入量; x_4 表示国内生产总值; x_5 表示碳排放量; x_6 表示植树造林面积. 定义了低碳经济全要素生产率增长之后, 将对测算低碳经济增长的 Malmquist-Luenberger 指数模型进行说明, 并简要分析数据的来源.

1.2.1 Malmquist-Luenberger 指数模型

Malmquist-Luenberger 指数较传统 Malmquist 指数, 具有可以测算存在非期望产出时全要素生产效率大小的变动, 并且在技术前沿指数下, 不需要采用几何平均形式以及不会出现线性规划无可行解等优点. 因此, 本文利用 Malmquist-Luenberger 指数测算低碳经济全要素生产率增长.

已有的对能源环境投入产出的研究中, 通常把期望产出与非期望产出同时包含在生产可能性集合当中, 但本文根据研究需要, 同时把非期望投入也纳入其中. 具体来说, 假定有 K 个决策单元, 在每个时期 t ($t=1, \dots, T$), 在每个决策单元当中有 N 种一般性投入 $x=(x_{1t}, \dots, x_{nt})$, R 种非期望投入 $z=(z_{1t}, \dots, z_{rt})$, M 中期望产出 $y=(y_{1t}, \dots, y_{mt})$, S 种非期望产出 $b=(b_{1t}, \dots, b_{st})$. 假定生产集满足有界、期望产出与投入可自由处置以及联合弱处置等性质, 则可以把低碳经济的生产技术函数表示为

$$T = [(x_t, z_t, y_t, b_t) \sum_{j=1}^J \lambda_{js} x_{njs} \leq x_{nt} \forall n; \sum_{j=1}^J \lambda_{js} z_{rjs} \geq z_{rt} \forall r; \sum_{j=1}^J \lambda_{js} y_{mjs} \geq y_{mt} \forall m; \sum_{j=1}^J \lambda_{js} b_{ijs} = b_{it} \forall i; \sum_{j=1}^J \lambda_{jt} = 1; \lambda_{is} \geq 0, j=1, 2, \dots, J] \quad (1)$$

计算全要素生产率指数是在生产技术函数的基础上, 通过方向距离函数计算每个决策单元到最优生产前沿面的距离. Fukuyama 等^[20]将松弛测度引入到方向性距离函数当中, 构造了 SBM 模型. 因此, 本文在 SBM 模型的研究基础上计算非期望投入与非期望产出, 其计算公式为

$$\vec{D}^t(x_{kt}, y_{kt}, b_{kt}, g) = \max_{s_t^x, s_t^z, s_t^y, s_t^b, \lambda_x} \frac{1}{4} \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{s_{nt}^x}{g_{nt}^x} + \frac{1}{R} \sum_{m=1}^M \frac{s_{rt}^z}{g_{rt}^z} + \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{s_{mt}^y}{g_{mt}^y} + \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \frac{s_{it}^b}{g_{it}^b} \right]$$

$$\text{s. t. } x_{nkt} = \sum_{j=1}^J \lambda_{js} x_{njs} + s_{nt}^x, n=1, \dots, N; t=1, \dots, T$$

$$\begin{aligned}
z_{rkt} &= \sum_{j=1}^J \lambda_{js} z_{rjs} - s_{rt}^z, \quad r=1, \dots, R; \quad t=1, \dots, T \\
y_{mkt} &= \sum_{j=1}^J \lambda_{js} y_{mjs} - s_{mt}^y, \quad m=1, \dots, M; \quad t=1, \dots, T \\
b_{ikt} &= \sum_{j=1}^J \lambda_{js} b_{ijs} + s_{it}^b, \quad i=1, \dots, I; \quad t=1, \dots, T \\
\forall rt=1, \dots, T; \quad s_{nt}^x &\geq 0, \quad \forall n; \quad s_{rt}^z \geq 0, \quad \forall r; \quad s_{mt}^y \geq 0, \quad \forall m; \quad s_{it}^b \geq 0, \quad \forall i \\
\sum_{j=1}^J \lambda_{js} &= 1; \quad \lambda_{js} \geq 0, \quad \forall j, \quad \forall s
\end{aligned} \tag{2}$$

其中 x_0 表示 N 维一般性投入; z_0 为 R 维非期望投入; y_0 表示 M 维期望产出; b_0 为 I 维非期望产出, (g^x, g^z, g^y, g^b) 分别表示一般性投入减少、非期望投入增加、期望产出增加、非期望产出减少的方向性向量, (s^x, s^z, s^y, s^b) 表示一般性投入冗余、非期望投入不足、期望产出不足以及非期望产出冗余的向量。

为了精确计算距离函数值, 将方向向量以标准化投入和产出松弛变量表示为

$$g_n^x = x_n^{\max} - x_n^{\min}, \quad g_r^z = z_r^{\max} - z_r^{\min}, \quad g_m^y = y_m^{\max} - y_m^{\min}, \quad g_i^b = b_i^{\max} - b_i^{\min} \tag{3}$$

将第 t 期和 $t+1$ 之间的 ML 指数分解为

$$\begin{aligned}
ML^{t,t+1} &= \frac{1 + \vec{D}_g(x^t, z^t, y^t, b^t)}{1 + \vec{D}_T(x^{t+1}, z^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} = \\
&\quad \frac{1 + \vec{D}_g(x^t, z^t, y^t, b^t)}{1 + \vec{D}_T(x^{t+1}, z^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} \times \frac{1 + \vec{D}_T(x^t, z^t, y^t, b^t)}{1 + \vec{D}_g(x^{t+1}, z^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} = \\
&\quad \frac{1 + \vec{D}_T(x^t, z^t, y^t, b^t)}{1 + \vec{D}_{t+1}(x^{t+1}, z^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} = \\
&\quad TP \times TEC
\end{aligned} \tag{4}$$

其中 TP 表示技术进步指数, TEC 表示技术效率改变指数. 这 2 个指数具体指的是前沿面改变效应与前沿面追赶效应.

1.2.2 数据来源与分析

本文利用中国 30 个省、市、自治区(西藏数据严重缺失)2005—2017 年的面板数据测算了低碳经济全要素生产率增长, 所用数据来自于各省《统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国林业统计年鉴》.

本文一般性的投入指标分为 3 种, ① 劳动投入, 本文用各省年末从业人员来表征; ② 资本存量, 资本存量根据“永续盘存法”进行估算, 其计算公式为

$$k_{i,t} = i_{i,t} + (1 - \delta)k_{i,t-1}$$

其中 $i_{i,t}$ 表示第 i 个省份在第 t 年的投资, δ 表示第 i 个省份第 t 年的折旧率, 本文采用张军等^[21]的研究, 折旧率取为 9.7%. 对于基期资本存量的计算采用 King 等^[22]的方法, 计算公式为

$$ratio = i / [\delta + \lambda\gamma(1 - \lambda)\gamma_\omega] \quad k^0 = ratio \times y^0$$

其中 i 为稳态条件下的投资率, $\lambda\gamma(1 - \lambda)\gamma_\omega$ 表示在稳态情况下的经济增长率, γ 表示各省份经济平均增长率, γ_ω 表示全国平均经济增长率, λ 为权重, 借鉴 Easterly 等^[23]的研究, λ 取值为 0.25, K^0 为初始资本存量, y^0 为初始年份真实总产出. 为了消除价格膨胀带来资本存量失真情况, 以 2000 年基期进行投资额的价格指数平减; 能源消耗用各省、市、自治区能源消耗量表示. 本文非期望投入用各省、市、自治区每年造林面积表示, 主要指的是人工造林面积. 期望产出为各省、市、自治区实际的地区生产总值. 非期望产出以二氧化碳的排放量表示, 因为至今还未有权威机构直接公布二氧化碳的排放量, 因此本文根据联合国政

府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Pancl on Climalt Change 2006)方法估算各省、市、自治区的二氧化碳排放量。变量描述性统计如表 1 所示。

表 1 变量描述性统计

变 量	最大值	最小值	平均值	标准差
劳动力/万人	1 302.24	10.46	283.86	223.31
资本存量/亿元	123 769.92	1 125.27	33 980.74	28 955.18
GDP/亿元	75 129.21	466.10	15 349.89	14 260.96
能源投入量/万 t 标准煤	251 125.01	724.18	18 752.64	32 467.81
造林面积/hm ²	605 993.01	710.26	105 476.80	98 025.55
二氧化碳排放量/万 t	835 561.50	2 167.33	73 630.96	117 541.20

2 模型设定

双差分法是对政策评估经常使用的一种方法,其特点是能够分析一项政府政策给被实施对象带来的净影响。Ashenfelter 等^[24]首次把这种方法引入到政策评估当中,其基本做法是选择一组不受政策影响的控制组和一组受到政策影响的处理组,通过比较处理组与控制组政策前后某项指标的变化来反映政策带来的净效应。Jefferson 等^[25]将双差分法用于研究排污权量化评估中,分析了污染较为严重的企业在利润、就业等方面的表现。随着双差分法在评估政策效果方面的作用逐渐突出,国内学者也开始运用其评估政策效果。周黎安等^[26]是国内最早运用双差分法评估农村税费改革政策效果。闫文娟等^[27]运用 DID 模型分析了二氧化硫排污权交易对单位产出二氧化硫排放强度的影响,发现二氧化硫排污交易降低了单位产出二氧化硫强度。

本文根据碳排放交易制度试点的省市和实施时间构建 DID 模型,由此就从时期和地区 2 个方面区分处理组和控制组,以此评估碳排放交易制度对低碳经济全要素生产率增长的净影响。模型构建中需引入时期虚拟变量 $PERIOD$ 和试点省市虚拟变量 $PROVINCE$,将低碳经济全要素生产率增长 ML 作为被解释变量,同时本文将低碳经济全要素生产率增长分解为技术进步 TP 与技术效率 TEC 两个部分,为了进一步分析碳排放交易制度对低碳经济增长的影响,分别将技术进步 TP 与技术效率 TEC 作为被解释变量构建模型,将各省市经济规模、二氧化碳排放量、植树造林面积作为控制变量引入模型。

$$ML_{it} = a_0 + a_1 PERIOD_t \times PROVINCE_i + a_2 Control_{it} + u_i + u_t + \xi_{it} \tag{5}$$

$$TP_{it} = \beta_0 + \beta_1 PERIOD_t \times PROVINCE_i + \beta_2 Control_{it} + u_i + u_t + \xi_{it} \tag{6}$$

$$TEC_{it} = b_0 + b_1 PERIOD_t \times PROVINCE_i + b_2 Control_{it} + u_i + u_t + \xi_{it} \tag{7}$$

其中 ML_{it} 表示第 i 个省市在第 t 年的低碳经济全要素生产率增长; TP_{it} 表示第 i 个省市在第 t 年的技术进步; TEC_{it} 表示第 i 个省市在第 t 年的技术效率; $PERIOD_t$ 表示实施碳排放交易制度的时期取 1,否则取 0; $PROVINCE_i$ 表示实施碳排放交易制度的省市取 1,否则取 0; $Control_{it}$ 为控制变量; u_i 为个体效应; u_t 为时间效应; ξ_{it} 为随机干扰项。

3 实证结果与分析

3.1 低碳经济全要素生产率增长及其分解

本文主要研究在碳排放交易制度下中国低碳经济发展状况,由于中国在 2013 年开始在部分省市实施碳排放交易制度试点,因此本文在时间段划分上分为 2004—2012 年、2013—2016 年 2 个时间段,计算每个时间段内的低碳经济全要素生产率增长并取其测算的均值,测算结果如表 2 所示。

通过 Malmquist-Luenberger 指数测算我国低碳经济全要素生产率增长的结果,得出 2004—2012 年和 2013—2016 年 2 个阶段分别增长了 0.3 个百分点和 0.7 个百分点。从不同阶段来看,2004—2012 年我国平均低碳经济全要素生产率增长的增长主要是由于技术进步,其中 22 个省市的低碳经济全要素生

产率增长有小幅增长,由此说明我国经济发展和资源环境保护处于基本协调状态,但是低碳经济全要素生产率增长整体还处于较低的发展水平.2013—2016 年,我国平均低碳经济全要素生产率增长的提高是技术进步和技术效率提高两方面共同作用的结果,在此期间虽然技术进步速度要比 2004—2012 年有所下降,但是在 2013—2016 年期间技术效率提高从整体上推动了低碳经济全要素生产率增长的提升.我国经济发展进入“新常态”以来采取了一系列措施发展低碳经济,诸如加快产业结构升级、开发新能源、提高技术水平等,由此 2013—2016 年低碳经济全要素生产率增长比 2004—2012 年低碳经济全要素生产率增长总体上提高了 0.4 个百分点.

基于对各省市低碳经济全要素生产率增长的估算,为了进一步检验试点地区低碳经济全要素生产率增长是否由于实施了碳排放交易制度所产生的政策效应,本文运用 DID 模型对其进行政策检验.

表 2 2004—2016 年不同阶段各省市低碳经济全要素生产率增长及其分解

地 区	2004—2012			2013—2016		
	ML	TP	TEC	ML	TP	TEC
北京	0.99	1.01	0.98	1.01	1.01	1.00
河北	0.92	0.85	1.08	1.08	0.95	1.13
天津	0.85	1.08	0.78	0.98	0.98	1.00
上海	0.96	0.96	1.00	0.98	0.98	1.00
重庆	1.03	1.09	0.94	1.23	1.09	1.12
广东	0.96	0.96	1.00	1.02	1.02	1.00
广西	1.05	1.03	1.01	1.02	1.07	0.95
安徽	1.04	1.10	0.94	1.14	1.08	1.05
福建	1.06	1.10	0.96	1.09	1.16	0.93
甘肃	1.03	1.06	0.97	1.04	1.06	0.98
贵州	1.08	1.00	1.08	0.95	1.00	0.95
海南	0.97	0.97	1.00	0.96	0.96	1.00
河南	1.08	1.08	1.00	1.04	1.08	0.96
黑龙江	1.07	1.16	0.92	1.16	1.07	1.08
吉林	1.05	1.10	0.95	1.05	1.05	1.00
辽宁	1.12	1.07	1.04	1.06	1.07	0.99
江西	1.02	1.06	0.96	1.05	1.05	1.00
湖北	1.03	1.09	0.94	1.09	1.09	1.00
湖南	1.05	1.05	1.00	1.09	1.09	1.00
江苏	1.06	1.07	0.99	1.06	1.06	1.00
宁夏	1.05	1.09	1.00	1.09	1.05	1.03
青海	0.95	0.95	1.00	0.95	0.95	1.00
山西	1.05	1.14	0.92	1.06	1.07	0.99
陕西	0.92	0.93	0.98	0.96	1.02	0.94
四川	1.10	1.17	0.94	1.13	1.08	1.04
新疆	1.03	1.05	0.98	1.03	1.03	1.00
云南	1.05	1.06	0.99	1.07	1.07	1.00
浙江	1.01	1.02	0.99	1.04	1.04	1.00
山东	1.09	1.13	0.96	1.04	1.04	1.00
内蒙古	1.01	1.05	0.96	1.03	1.01	1.01
平均	1.03	1.08	0.95	1.07	1.05	1.01

3.2 平行性假设检验

平行性假设是双差分方法的重要假设,它要求若没有受到政策影响,干预组个体变化模式与控制组个体变化模式一样,也即未观测因素对 2 组个体的影响相同.只有在试点省市与非试点省市低碳经济全要素生产率增长满足平行性假定时,其交互项才是处理效应,因此对平行性假定的检验十分必要.表 3 为平行性假定检验结果.

表 3 平行性假定检验

变量	LCEGR
PERIOD	−0.02** (12.02)
PROVINCE	−0.04** (16.31)
Before2	−0.03 (−0.38)
Before1	−0.008 (0.31)
Current	−0.006** (10.36)
After1	0.006** (12.41)
After2	0.02* (3.36)

注：***、**、* 分别表示在 1%,5%,10%水平上具有统计学意义,“()”中数值表示 t 值。

其中 Before2 和 Before1 为虚拟变量, Before2 表示若是观测值为受到政策影响前第 2 年的数据,则该指标取 1, 否则取 0; Before1 表示若是受到政策冲击前第 1 年的数据, 则取 1, 否则取 0; 如果观测值为受到政策冲击的当年数据, 则 Current 取值为 1, 否则为 0; 当观测值是政策冲击后第 1 年、第 2 年的数据时, After1, After2 分别取 1, 否则取 0。从平行性检验的结果来看, Before2 和 Before1 的系数均不具有统计学意义, 而 After1 与 After2 的系数均正向具有统计学意义, 表明双差分模型满足平行性假设。

3.3 基本回归结果分析

为了检验碳排放交易制度的实施对试点省市低碳经济全要素生产率增长净增长的影响, 运用双差分方法能有效区分试点地区与非试点地区的差别, 同时兼顾不同时间的影响, 可以使分析更为科学。表 4、表 5、表 6 分别给出政策检验的结果。

表 4 低碳经济全要素生产率政策检验结果

变 量	(1)	(2)
PERIOD×PROVINCE	0.02*** (3.58)	0.016*** (3.49)
控制变量	NO	YES
个体效应	YES	YES
时间效应	YES	YES
R^2	0.31	0.36
观测值数	375	375

注：***、**、* 分别表示在 1%,5%,10%水平上具有统计学意义,“()”中数值表示 t 值。

表 5 技术进步 TP 政策检验结果

变 量	(1)	(2)
PERIOD×PROVINCE	0.012*** (4.31)	0.011*** (4.06)
控制变量	NO	YES
个体效应	YES	YES
时间效应	YES	YES
R^2	0.26	0.30
观测值数	375	375

注：***、**、* 分别表示在 1%,5%,10%水平上具有统计学意义,“()”中数值表示 t 值。

表 6 技术效率 *TEC* 政策检验结果

变 量	(1)	(2)
<i>PERIOD</i> × <i>PROVINCE</i>	0.03*** (5.36)	0.02*** (5.09)
控制变量	NO	YES
个体效应	YES	YES
时间效应	YES	YES
<i>R</i> ²	0.37	0.43
观测值数	375	375

注：***、**、* 分别表示在 1%,5%,10%水平上具有统计学意义,“()”中数值表示 *t* 值。

表 4 中,(1),(2)两列分别报告了没加入控制变量与加入控制变量时,碳排放交易制度对地区低碳经济全要素生产率增长的估计结果. 整个回归结果最为关注的是交乘项系数及其统计学意义,检验结果显示不管是否加入控制变量,其交互项的系数显著为正,在加入控制变量后其交互项系数变小,说明变量经济规模、二氧化碳排放量以及造林面积综合作用降低了低碳经济全要素生产率增长. 单从系数的大小来说,揭示了碳排放交易制度对发展低碳经济的作用较小,这是由于碳排放交易制度在我国的推行尚处于初级阶段,制度实施各方面还不够成熟.

表 5、表 6 回归的结果表明,碳排放交易制度对技术进步和技术效率的政策效应显著为正,并且对技术效率的政策效应明显大于对技术进步的效应. 这说明碳排放交易制度的实施使整个经济社会运用技术效率的水平得到有效提高,由于技术进步是长期积累的过程,短时间内很难突破技术瓶颈. 因此,本文得出碳排放交易制度的实施主要是因为提高了技术效率,从而促进了低碳经济增长.

3.4 模型结果稳定性检验

表 4 的回归结果得出碳排放交易制度对试点地区的低碳经济全要素生产率增长有一定的促进作用,虽然通过表 3 得知试点地区与非试点地区满足平行性假定,但是为了更为准确地说明得出的结果并非偶然,有必要对模型稳健性进行检验.

对于 DID 模型结果的稳健性检验多数学者采用反事实检验的方法,如肖浩等^[28]、刘瑞明等^[29]利用反事实检验交乘项系数的显著性得出原结论是否稳健,其主要思路是人为变更政策实施的时间,将变更后的政策变量参与到原模型回归分析中,通过回归结果对比验证政策效果. 本文将政策实施开始的年份提前 2 年、3 年,再将提前的变量参与到原模型的回归当中,由此判断原回归结果的稳健性. 表 7 的回归结果表明,人为将政策提前,其交互项并不具有统计学意义,这就说明低碳经济增长不是其他因素导致的,而是由于碳排放交易制度的实施.

表 7 反事实检验(政策提前 2 年、3 年)

变 量	(1)	(2)	(1)	(2)
<i>PERIOD</i> × <i>PROVINCE</i> (<i>front</i> 2)	0.007 (0.45)	0.005 (0.51)		
<i>PERIOD</i> × <i>PROVINCE</i> (<i>front</i> 3)			0.003 (0.13)	0.002 (0.05)
控制变量	No	Yes	No	Yes
个体效应	Yes	Yes	Yes	Yes
时间效应	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>R</i> ²	0.31	0.26	0.32	0.27
观测值	226	226	2 265	226

注：***、**、* 分别表示在 1%,5%,10%水平上具有统计学意义,“()”中数值表示 *t* 值。

除了运用反事实检验模型结果的稳定性,本文还采用“单差法”检验碳排放交易制度对地区低碳经济增长的影响。表 8 回归结果显示交乘项系数显著为正,明显大于双差分回归结果系数,并且模型统计值 R^2 略有减小,因此表明单差分方法虽然确定了政策影响的方向,却高估了政策的作用,较单差分法分析,双差分法估计效果更为准确。

表 8 单差分模型政策检验结果

变 量	(1)	(2)
$PERIOD \times PROVINCE$	0.13*** (4.32)	0.11*** (5.74)
控制变量	NO	YES
个体效应	YES	YES
时间效应	YES	YES
R^2	0.25	0.118
观测值数	375	375

注:***、**、* 分别表示在 1%,5%,10%水平上具有统计学意义,“()”中数值表示 t 值。

3.5 政策时间趋势检验

为了考察碳排放交易制度对试点省市低碳经济全要素生产率增长在时间上的变化趋势,表 9 给出了在政策实施当年以及政策实施后每一年对试点省市低碳经济增长的影响。具体来看政策效应呈现出倒“U”型结构,表明政策效应有一定的滞后性并且伴随着时间的推移有所减弱,可能的原因是政策实施之初,由于政策本身的不完善使其政策效果没有达到理想的效果,随着政策本身逐步完善,政策效果有所改善。但是,随着时间的推移可能因外部因素使政策效果有所下降。

表 9 政策实施效果的时间趋势

	(1)	(2)
政策实施当年(2013)	0.016 (2.56)	0.013 (3.21)
政策实施后第 1 年(2014)	0.03 (3.49)	0.02 (3.67)
政策实施后第 2 年(2015)	0.02 (1.86)	0.017 (1.93)
政策实施后第 3 年(2016)	0.012* (1.87)	0.01* (1.76)
控制变量	NO	YES
R^2	0.12	0.13
观测值数	208	208

注:***、**、* 分别表示在 1%,5%,10%水平上具有统计学意义,“()”中数值表示 t 值。

4 结 语

本文以中国 30 个省市为研究对象,利用 Malmquist-Luenberger 指数方法测算了我国 2004—2016 年低碳经济全要素生产率增长,测算结果得出 2004—2012 年和 2013—2016 年 2 个阶段分别增长了 0.3 个百分点和 0.7 个百分点,明显第 2 个阶段的增长率要高于第 1 个阶段。文章把低碳经济全要素生产率增长分解成技术进步与技术效率提高 2 个部分,2004—2012 年低碳经济全要素生产率增长主要由于技术进步,2013—2016 年低碳经济全要素生产率增长的提高是技术进步与技术效率提高两方面共同作用的结果,其中技术效率提高起到了重要的推动作用。在测算出低碳经济全要素生产率增长的基础上,利用 DID 模型检验碳排放交易制度的政策效应。DID 检验的结果表明碳排放交易制度对低碳经济的发展起到正向作用,其中主要是由于碳排放交易制度提高了技术效率,从而促进了低碳经济增长。

基于本文的研究结论提出以下几点政策建议: ① 扩大碳排放交易范围. 主要从交易的市场和主体 2 个方面来讲, 通过扩大交易市场和主体达到增加交易成交量的目标. 由于碳排放交易对技术水平和经济发展有较高要求, 因此只有在市场经济较为发达、各项公共管理制度较为完善的国家或地区才能保障其交易正常运转, 所以要从根本上改变我国地区之间经济发展的不平衡, 扩大交易市场范围, 同时要确保交易主体平等性, 鼓励社会公众参与到碳排放交易中去, 从而扩大交易主体范围. ② 规范政府行为. 政府应为碳排放交易保驾护航, 加大对超额污染的惩罚力度. 目前, 地方政府存在对碳排放交易的过度干预行为, 地方官员为了保护本地利益, 强行用行政命令禁止将排污权转让给其他地区, 严重制约了碳排放交易在全国范围内进行, 还存在一些行政命令操纵交易过程的行为, 代替市场运作, 严重影响了碳排放交易的公平、公正原则. ③ 多种减排方式相结合. 虽然碳排放交易制度在一定程度上促进了低碳经济的发展, 但是由于其处于初级阶段对低碳经济的推动作用有限, 所以要与碳税等节能减排措施相结合, 并且应提高社会公众的环保意识, 倡导绿色消费, 使之成为一种良好的社会氛围.

参考文献:

- [1] SOYTAS U, SARI R, EWING B T. Energy Consumption, Income, and Carbon Emissions in the United States [J]. *Ecological Economics*, 2007, 62(3/4): 482-489.
- [2] 张丽峰. 我国经济增长、能源消费对碳排放影响分析 [J]. *工业技术经济*, 2011, 30(1): 123-129.
- [3] FANKHAUSER S. A Practitioner's Guide to a Low-Carbon Economy: Lessons from the UK [J]. *Climate Policy*, 2013, 13(3): 345-362.
- [4] XUE J, WATANABE S. Low Carbon Economy in Japan [J]. *Handbook of Clean Energy Systems*, 2015(6): 123-134.
- [5] 杨 颖. 四川省低碳经济发展效率评价 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2012, 22(6): 52-56.
- [6] 周泽炯, 胡建辉. 基于 Super-SBM 模型的低碳经济发展绩效评价研究 [J]. *资源科学*, 2013, 35(12): 2457-2466.
- [7] 雷 明, 虞晓雯. 我国低碳经济增长的测度和动态作用机制——基于非期望 DEA 和面板 VAR 模型的分析 [J]. *经济科学*, 2015(2): 44-57.
- [8] 刘 翔, 陈晓红. 我国低碳经济发展效率的动态变化及碳减排潜力分析 [J]. *系统工程*, 2017, 35(5): 92-100.
- [9] 谢志祥, 秦耀辰, 沈 威. 中国低碳经济发展绩效评价及影响因素 [J]. *经济地理*, 2017, 37(3): 1-9.
- [10] 马大来, 杨光明. 金融发展、技术进步与中国低碳经济增长效率——基于空间面板数据模型的实证研究 [J]. *重庆大学学报(社会科学版)*, 2018, 24(3): 13-28.
- [11] 郑宝华, 刘东皇. 我国区域间低碳经济效率影响因素分析 [J]. *统计与决策*, 2017(20): 144-146.
- [12] DALES J H. Pollution, Property & Prices: an Essay in Policy-Making and Economics [J]. *Edward Elgar Pub*, 1968(4): 21-33.
- [13] KLAASSEN G, NENTJES A, SMITH M. Testing the Theory of Emissions Trading: Experimental Evidence on Alternative Mechanisms for Global Carbon Trading [J]. *Ecological Economics*, 2005, 53(1): 47-58.
- [14] FÄRE R, GROSSKOPF S, PASURKA C A J. Tradable Permits and Unrealized Gains from Trade [J]. *Energy Economics*, 2013, 40: 416-424.
- [15] 崔连标, 范 英, 朱 磊, 等. 碳排放交易对实现我国“十二五”减排目标的成本节约效应研究 [J]. *中国管理科学*, 2013, 21(1): 37-46.
- [16] 汤 铃, 武佳倩, 戴 伟, 等. 碳交易机制对中国经济与环境的影响 [J]. *系统工程学报*, 2014, 29(5): 701-712.
- [17] 沈洪涛, 黄 楠, 刘 浪. 碳排放权交易的微观效果及机制研究 [J]. *厦门大学学报(哲学社会科学版)*, 2017(1): 13-22.
- [18] 黄志成, 赵林度, 王 敏. 碳排放交易制度差异下的国际供应链生产计划问题 [J]. *中国管理科学*, 2017, 25(11): 58-65.
- [19] 雷 明, 虞晓雯. 地方财政支出、环境规制与我国低碳经济转型 [J]. *经济科学*, 2013(5): 47-61.
- [20] FUKUYAMA H, WEBER W L. A Directional Slacks-Based Measure of Technical Inefficiency [J]. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2009, 43(4): 274-287.

- [21] 张 军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952—2000 [J]. 经济研究, 2004, 39(10): 35-44.
- [22] KING R G, LEVINE R. Capital Fundamentalism, Economic Development, and Economic Growth [J]. Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy, 1994, 40: 259-292.
- [23] EASTERLY W, KREMER M, PRITCHETT L, et al. Good Policy or Good Luck? [J]. Journal of Monetary Economics, 1993, 32(3): 459-483.
- [24] ASHENFELTER O, CARD D. Using the Longitudinal Structure of Earnings to Estimate the Effect of Training Programs [J]. The Review of Economics and Statistics, 1985, 67(4): 648-660.
- [25] JEFFERSON G H, TANAKA S, YIN W. Environmental Regulation and Industrial Performance: Evidence from Unexpected Externalities in China [M]. Social Science Electronic Publishing, 2013.
- [26] 周黎安, 陈 烨. 中国农村税费改革的政策效果: 基于双重差分模型的估计 [J]. 经济研究, 2005, 40(8): 44-53.
- [27] 闫文娟, 郭树龙. 中国二氧化硫排污权交易会减弱污染排放强度吗——基于双倍差分法的经验研究 [J]. 上海经济研究, 2012, 24(6): 76-83.
- [28] 肖 浩, 孔爱国. 融资融券对股价特质性波动的影响机理研究: 基于双重差分模型的检验 [J]. 管理世界, 2014(8): 30-43, 187-188.
- [29] 刘瑞明, 赵仁杰. 国家高新区推动了地区经济发展吗——基于双重差分方法的验证 [J]. 管理世界, 2015(8): 30-38.

Low-Carbon Economy Development Under the Carbon Emission Trading Scheme (ETS) ——An Analysis Based on Undesired DEA and DID Models

WANG Zhao, WANG Liang-hu

School of Economics and Management, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: The Malmquist-Luenberger index method was used to measure the low-carbon economy total factor productivity growth in 2004—2016. Based on the calculation of low-carbon economy total factor productivity growth of each province, the DID model was used to test the carbon emission trading scheme for low-carbon economy total factor productivity growth. Through the analysis of the results of the model test, it was concluded that the carbon emission trading scheme played a positive role in the development of a low-carbon economy. The main reason was that the carbon emission trading scheme improved the technical efficiency, thus promoting the growth of the low-carbon economy. However, the implementation of the carbon emission trading scheme in China was still in its infancy, and its role in the development of a low-carbon economy was relatively small. A time trend test of the policy effect found that the policy effect exhibited an inverted “U”-type structure, which showed that the policy effect had a certain lag and was weakened with the passage of time. Finally, it was proposed that the development of the low-carbon economy should be promoted from the aspects of expanding the scope of carbon emission trading, regulating government behavior, and integrating multiple emission reduction methods.

Key words: Malmquist-Luenberger index; DID model; low-carbon economy