

How Can Technological Innovation Restrain Carbon Intensity?

—Research on the Intermediary Effect Based on Energy Consumption Structure

Zhaowen Sun, Qi Li, Jianghai Du

School of Finance and economics, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu
Email: 987286396@qq.com, 1181388007@qq.com

Received: Mar. 7th, 2020; accepted: Apr. 2nd, 2020; published: Apr. 9th, 2020

Abstract

Low-carbon technology innovation is one of the effective measures to deal with the greenhouse effect. It is of great practical significance to explore the mechanism of technology innovation on carbon emissions. Based on 2004-2016 provincial panel data of China, this paper studies the relationship among low-carbon technology innovation, energy consumption structure and carbon intensity through the intermediary effect test method, and analyzes the intermediary effect of energy consumption structure in each region in combination with the characteristics of the East, middle and west regions of China. It is found that the energy consumption structure has a significant intermediary effect, and 37.59% of the inhibition effect of technological innovation on carbon intensity is achieved by optimizing the energy consumption structure. Based on EKC hypothesis and empirical results, it is found that China's current economic level has not reached the "turning point", and there is a "green paradox" of environmental regulation. It is found that in the east of China, energy consumption structure plays a significant intermediary role, technological innovation has a significant inhibitory effect on carbon intensity, and the "inflection point" of the EKC hypothesis has reached in the economic level of the eastern region has no significant intermediate effect on the energy consumption structure of the central and western regions, and technological innovation cannot effectively inhibit local carbon emissions.

Keywords

Low-Carbon Technology Innovation, Energy Consumption Structure, Mediation Effect, Carbon Intensity

技术创新如何抑制碳强度？

——基于能源消费结构的中介效应研究

孙兆文, 李 琪, 杜江海

江苏大学财经学院, 江苏 镇江
Email: 987286396@qq.com, 1181388007@qq.com

收稿日期: 2020年3月7日; 录用日期: 2020年4月2日; 发布日期: 2020年4月9日

摘要

低碳技术创新是应对温室效应的有效措施之一,探究技术创新对碳排放的作用机制具有重要的现实意义。本文基于2004~2016中国省级面板数据,通过中介效应检验方法,研究了低碳技术创新、能源消费结构和碳强度三者的关系;并结合我国东、中、西三个地区的特点分析各地区能源消费结构的中介效应。通过研究发现:能源消费结构具有显著的中介效应,技术创新对碳强度的抑制效应有37.59%是通过优化能源消费结构实现。基于EKC假说与实证结果发现我国当前经济水平尚未到达“拐点”,存在环境规制的“绿色悖论”。通过分区域研究发现在我国东部,能源消费结构具有显著的中介作用,技术创新对碳强度有显著的抑制效用、且东部地区经济水平已经达到EKC假说中的“拐点”在中、西部地区能源消费结构的中介效应不显著,并且技术创新也无法有效抑制当地碳排放。

关键词

低碳技术, 创新能源, 消费结构, 中介效应, 碳强度

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

近年来,二氧化碳排放引起的气候变暖已经成为全球面临的挑战,我国作为当今最大的发展中国家同时也是碳排放量第一的国家,推行低碳减排政策是义不容辞的责任。当前我国正处于经济转型及生态环境治理的关键时期,2009年我国曾承诺到2020年实现碳强度下降40%~45%的目标,在严峻的减排挑战下,我国政府积极寻求有效的减排方式。综合以往研究:技术创新是解决气候变化(促进低碳减排)的重要手段[1]。本文从低碳技术创新的角度出发,综合考虑影响碳排放的各种因素,通过中介效应检验方法研究技术进步对碳强度的影响机制,并进一步分析我国技术创新对碳强度的区域影响特征。从而推动能源消费结构优化,对制定区域减排政策具有一定的现实意义。

2. 文献综述

2.1. 技术创新与碳排放

影响碳排放的因素一直是学术界研究热点,目前已经确定的影响因素有经济增长、产业结构、技术创新、能源消费结构等[2]。虽然当前学术界普遍认为技术创新是应对气候变暖的有效手段,但是对其具体的作用机制仍然存在争议。部分研究认为:技术创新能够有效降低碳强度,发挥最大的减排效用。王道平等[3]基于1992~2012年71个国家或地区的专利统计数据,结合收入水平从全球视角检验了低碳技术创新对碳排放的影响,发现低碳技术创新具有提升能源效率和抑制碳强度的作用,并且在高收入地区,

技术创新对碳排放的抑制作用更显著。鄢哲明等[4]通过测算 1992~2012 年全球 15 个经济体的低碳技术创新水平证实无论是低碳技术创新, 还是细分的清洁技术创新和灰色技术创新, 都具有直接且显著的碳强度抑制效应。彭永涛等[5]基于 EPO 和 USPTO 颁布的 CPC-Y02 专利分类体系以及 Incopat 专利检索数据库, 分析了中国低碳技术创新特征, 认为中国低碳技术创新呈现区域分布不均衡状态, 创新专利未有效向企业转移且创新应用领域单一的特点。张鸿武等[6]采用 1998~2013 年中国 36 个工业行业面板数据, 使用环境效应分解模型与拉氏指数和帕氏指数直接测算法, 分析了技术进步和结构调整在中国工业减排中的作用, 结果证实技术进步在工业减排中起主导作用。

2.2. 技术创新与能源消费结构

从低碳技术创新的功能角度, 可以分为绿色技术和灰色技术[7]。其中绿色技术创新偏向于零碳领域, 而灰色技术创新偏向于提高能源利用效率。技术创新通过研发清洁能源和提高能源效率来优化能源消费结构(沈莲花等)采用向量自回归(VAR)模型、脉冲响应函数和方差分解等统计方法, 研究产业结构升级、技术进步与安徽省能源效率间的动态关系, 结果认为短期内技术进步对能源消费呈抑制效应, 长期来看技术进步能够显著提高能源效率[8]。(郝新东)通过对比中美能源消费结构特点, 认为当前我国能源消费结构转型中, 技术替代是关键因素[9]。

2.3. 能源消费结构与碳排放

经济的增长需要能源支撑, 然而中国当前能源消费结构仍然是以煤炭为主。伴随着中国经济发展进入新常态, 优化能源消费结构, 降低传统能源消费占比有利于摆脱中国的“煤炭依赖症”, 促进经济高质量发展。关于能源消费结构对碳排放的影响目前学术界也做了诸多研究: 王勇等[10]基于能源结构优化视角对中国实现碳强度和碳峰值“双控”目标的可行性及最优路径进行分析, 发现经济中速发展及减排政策约束下的能源结构调整情景是实现“双控”目标的最优路径。冯宗宪等[11]运用拓展的 STIRPAT 模型对 1995~2016 年中国四大地区碳排放驱动因素进行实证探究后发现能源消费结构对碳排放有显著的抑制效用。林伯强等[12]从供需两侧考虑能源需求问题, 将二氧化碳作为满足能源需求的一个约束, 建立优化模型, 发现政府的可再生能源规划对二氧化碳减排具有重要的正面影响, 但二氧化碳排放约束改变能源结构导致的能源成本增加, 对宏观经济具有一定的负面影响。

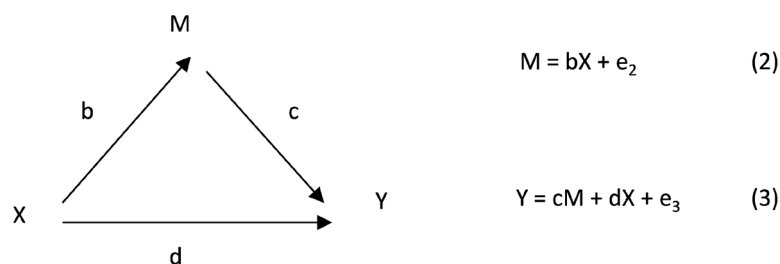
3. 模型设定与变量选取

3.1. 研究方法

中介效应一开始广泛应用于心理学研究, 随着中介效应的优点逐渐显现, 经济学领域开始使用中介模型。比如(甄红线等)通过设定代理成本作为中介变量研究了两类代理成本在终极控制权和制度环境与公司绩效之间的不同影响路径[13]。苏岚岚等以创业绩效作为中介变量, 分析了农民创业能力对创业获得感的影响及其路径[14]。

中介效应模型指在研究自变量与因变量的关系时, 选取某个能够发挥中介作用的变量作为中介变量, 比如考虑自变量 X 对因变量 Y 的影响, 如果 X 通过影响变量 M 而对 Y 产生影响, 则称 M 为中介变量。相比于单纯的研究自变量对因变量影响的研究, 中介效应能够得到更深入的结果。其具体作用机制如下:

$$\begin{array}{ccc}
 & a & \\
 X & \longrightarrow & Y \\
 & & Y = aX + e_1 \quad (1)
 \end{array}$$



方程(1)表示自变量 X 对因变量 Y 的总效应为 a, 方程(2)为自变量对中介变量 M 的效应为 b, 方程(3)的系数 d 表示在控制了中介变量时自变量对因变量的效应, 系数 c 表示控制自变量后中介变量对因变量的效应。对于单一中介变量的模型, 各效应存在 $a = d + bc$ 的关系。

本文中中介效应显著性的检验方法采用逐步检测法: ①检验 X 对 Y 的总效应即系数 a 是否显著; ②检验系数乘积的显著性($H_0 bc = 0$)通过依次检验 b 和 c 的系数来间接检验; ③区分部分中介还是完全中介, 即 X 能否直接对 Y 产生影响, 若 $d = 0$, 此时 $a = bc$ 为完全中介。

3.2. 模型设定

根据以往针对碳排放的研究基础, 低碳技术创新可能通过改善能源消费结构, 即降低传统能源消耗来降低碳强度。本文结合中介效应的检验方法, 研究低碳技术创新、能源消费结构和碳排放强度的关系, 并设置相应控制变量。

计量模型如下[15]:

$$C_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Y02_{it} + \alpha_2 X_{it} + e_{it} \quad (1)$$

$$E_{it} = \beta_0 + \beta_1 Y02_{it} + \beta_2 X_{it} + e_{2it} \quad (2)$$

$$C_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 Y02_{it} + \gamma_2 E_{it} + \gamma_3 X_{it} + e_{3it} \quad (3)$$

Y02 为解释变量, 表示低碳技术创新水平。能源消费结构(E)为中介变量碳强度(C)为被解释变量。(X)为控制变量包括: 对外开放(fdi)城市化(ur)经济发展水平(pgdp)环境规制(er)。i 为地区 t 为时间。

3.3. 变量选取与数据来源

本文以 2004~2016 年为研究区间, 选取我国 30 个省级行政单位(港澳台和西藏数据缺失而剔除)为考察对象。文中碳排放量采用物料衡算法计算, 相关能源消耗数据来自于《中国统计年鉴》, y02 数据来自 Incopat 专利数据库。为消除价格变动影响, 以 2004 年基期对 GDP 进行处理, 外商直接投资、城镇化水平、能源消费等数据均来自于《中国统计年鉴》, 在实证过程中做对数化处理。

被解释变量(C), 碳强度: 碳强度指单位 GDP 二氧化碳排放量, 碳强度的大小并不代表效率的高低, 它一般随着经济增长或技术进步而下降。此外, 碳强度还受产业结构、城市化水平等因素影响。2009 年我国曾承诺到 2020 年将碳强度下降 40%~45% 的一个目标。要得到碳强度的数据首先要对各省碳排放量进行计算, 本文选择物料衡算法, 公式如下:

$$C = \sum_j^3 C_j = \sum_j E_j * NCV_j * CEF_j * COF_j * \left(\frac{12}{44}\right)$$

C 表示二氧化碳排放量, E_j 表示第 j 类能源消耗量, 本文按照《中国统计年鉴》上能源种类进行核算; NCV 为能源平均单位发热量; CEF 为 IPCC 公布的碳排放系数, COF 为碳氧化因子。

核心解释变量(Y02), 低碳技术创新: 技术进步对我国二氧化碳减排有显著的促进作用, 同时又有明

显的地区差异[16]。本文采用 2013 年美国 and 英国联合颁布的合作专利分类系统(CPC)中 Y02 (改善气候变化的技术)分类申请专利数来衡量低碳创新[17]，且仅考虑中国籍人士于中国境内申请的专利数为核算指标。本文以 2004 年~2016 年为研究区间，对各领域技术创新数据加总得到各省市各年创新数据。

中介变量(E)，能源消费结构：本文以煤炭等传统化石能源消费量占能源消费总量的比重来表示能源消费结构。我国长期以来以煤炭等化石能源为主的能源消费结构使得我国二氧化碳和大气污染物的排放量快速上升，目前已跃居世界第一成为全球碳排放最多的国家。一方面通过技术进步提高传统能源的使用效率降低排放，另一方面通过开发清洁能源，降低传统能源占比来降低碳排放。

控制变量(X)：①城市化(ur)选取各省城市人口占总人口比重表示城市化水平。理论上，城市化进程中一方面由于区域人口的增加而增加了能源需求，从而增加了当地二氧化碳排放；另一方面城市化产生的集聚效应会在总体上抑制碳排放的增长。我国当前各区域城市化水平存在很大差异。②经济发展水平(PGDP)，经济增长是导致碳排放的主要因素之一。改革开放以来我国经济取得快速增长，伴随而来的是严重的温室效应和雾霾等负面效应。Grossman & Kruege [18]认为环境污染和经济增长之间存在倒 U 型关系，即经济增长达到某一水平后经济增长会提高环境质量。本文基于 2004~2016 年各省人均 GDP 表示经济发展水平。③对外开放：本文以外商直接投资占 GDP 比重表示对外开放水平。综合以往研究，外商投资存在两种假说，一种是“污染避难所”假说：外商直接投资会通过高污染企业向东道国转移而恶化其环境[19]；另一种是“污染晕轮假说”：外商直接投资会带来先进的技术和治理经验而提高环境质量[20]。④环境规制(er)：以环境治理投资占 GDP 比重表示环境规制强度，强度越高对环境改善作用越大。

4. 实证结果

本文基于 2004~2016 年省级面板数据，通过中介模型得到三个方程检验结果见表 1：

Table 1. Provincial panel data study
表 1. 省级面板数据研究

变量	方程一		方程二		方程三	
	估计系数	标准差	估计系数	标准差	估计系数	标准差
Y02	-0.1958***	0.0217	-0.0855***	0.0126	-0.1222***	0.0200
pgdp	0.0333**	0.0142	-0.0124	0.0082	0.0439***	0.0123
fdi	0.0748**	0.0305	0.603579***	0.0177	0.0228	0.0268
er	0.0302*	0.0166	-0.0098	0.0097	0.0387**	0.0145
ur	-0.9885***	0.1911	-0.3273**	0.1108	-0.7068***	0.1678
E					0.8608***	0.0793

***、**、*分别表示在 0.01、0.5、0.1 水平下显著。

本文针对表中三个方程采用固定效应的面板数据回归。三个方程分别对应检验中介效应的三个步骤。①检验低碳技术创新对碳强度的效应，经过检验发现低碳技术创新水平(y02)的系数显著为负，说明随着技术进步碳强度会显著下降。经济发展水平系数显著为正，基于 EKC 假说认为我国当前经济发展水平还未到达“拐点”。通过第一步检验。②检验低碳技术创新对能源消费结构的效应：检验结果中(y02)的系数为-0.0885，说明通过技术创新能过显著优化能源消费结构，降低传统能源消费比重。通过第二步检验。③检验低碳技术创新和能源消费结构对碳强度的影响，将两个变量结合在一起考虑时，如方程三结果所示：技术创新的系数为-0.1222，说明低碳技术创新对碳强度有显著的抑制作用，即通过技术创新能显著

降低碳强度；能源消费结构的系数为 0.8608，说明传统能源对碳强度有显著正向作用，即传统能源占比越高，碳强度越高。三个方程的系数具有 $-0.1958 = -0.1222 + 0.8608 * (-0.0855)$ 。的关系。

基于中介效应检验方法：低碳技术创新对碳强度具有部分中介的效用，也就是说低碳技术创新通过优化能源消费结构，降低传统能源占比达到降低碳强度的目标。中介效应的大小为：

$$\frac{(0.8608 * (-0.0855))}{-0.1222 + 0.8608 * (-0.0855)} = 0.3759$$

，即低碳技术创新对碳强度的抑制作用，有 37.59% 是通过优化能源

消费结构来实现的。这也说明了优化能源消费结构在低碳技术创新降低碳强度的过程中发挥着重要的中介作用，通过技术创新，优化能源消费结构从而降低碳强度是一条有效的减排途径。

根据上表的结果，方程一中经济发展水平的系数为 0.033，基于 EKC 假说可以得出，当前我国经济发展水平尚未到达“拐点”，经济的增长对碳强度具有显著正向作用，结合方程二的结果，经济发展水平系数为正说明当前我国经济的增长有相当一部分依旧需要传统能源的支持，也说明了我国发展低碳经济的重要性。对外开放的系数为 0.0748，从结果上看支持“污染避难所”假说，可能是由于各地政府在吸引外商投资发展本地经济的过程中忽视对环境的影响而造成。在方程二中，对外开放的系数显著为正，说明当前发达国家在对外投资时偏向于以消耗传统能源为主、具有高污染特征的企业、以达到污染转移的目的。方程一中环境规制(er)的系数为 0.0302，说明环境规制对碳强度有显著的正向作用、可能是由于信息不对称、政策执行不完全以及经济政策的不确定性导致发生环境规制的“绿色悖论”现象[21]。城市化(ur)在方程一中系数为-0.9885，说明随着城市化水平的提高，对碳强度有显著的抑制效用。

4.2. 分区域影响特征

按照中介效应检验方法，本文对我国东、中、西部地区技术创新、能源消费结构和碳强度的关系进行实证研究，结果见表 2：

Table 2. Empirical study of East, middle and West Regions

表 2. 东、中、西部地区实证研究

变量	东部			中部			西部		
	方程一	方程二	方程三	方程一	方程二	方程三	方程一	方程二	方程三
E			1.2245*** (0.1093)			0.3925* (0.2014)			-0.0576 (0.0576)
Y02	-0.3633*** (0.0349)	-0.1434*** (0.0201)	-0.1877*** (0.0294)	-0.0654 (0.0417)	-0.0346 (0.0227)	-0.1248*** (0.0451)	0.0058 (0.0265)	0.0292 (0.0186)	0.0075 (0.0268)
Pgdp	-0.6447** (0.0257)	-0.0522*** (0.0148)	-0.0005 (0.1915)	0.0459** (0.0224)	0.0166 (0.1219)	0.0214 (0.02499)	0.0910*** (0.0180)	0.0123 (0.0126)	0.0917*** (0.1816)
fdi	0.0616 (0.0534)	-0.0052 (0.0308)	0.0681* (0.0379)	0.3449*** (0.0519)	0.0942*** (0.0283)	0.2616*** (0.0609)	0.0504 (0.3233)	0.1106*** (0.0227)	0.0568 (0.0353)
er	-0.0146 (0.0266)	-0.0279* (0.0154)	0.0196 (0.0192)	-0.0245 (0.0293)	-0.0168 (0.0159)	0.0051 (0.0337)	0.0044 (0.0183)	-0.0289** (0.0128)	0.0027 (0.0187)
ur	0.9722** (0.4177)	-0.2659 (0.2410)	1.2977*** (0.2982)	-2.0077*** (0.6872)	-0.9161*** (0.1847)	-1.0972*** (0.9884)	-2.3713*** (0.2128)	-0.8753*** (0.2299)	-2.4218*** (0.2407)

4.2.1. 东部地区中介效应分析

从东部地区检验结果来看：方程一技术创新(y02)的系数显著为负，说明在我国东部地区技术创新能够有效降低碳强度，通过第一步检验。方程二中技术创新系数显著为负，说明东部地区通过技术创新能够显著降低传统能源消费比例，通过第二步检验；同时考察技术创新和能源消费结构对碳强度的影响结果

如方程三所示；技术创新的系数为-0.1877，能源消费结构系数为 1.2245，均通过 1%显著水平。说明在我国东部地区，能源消费结构在技术创新抑制碳强度增长的过程中具有部分中介的效用。东部地区经济发展水平系数显著为负，说明东部地区经济水平已经达到“拐点”，经济增长能够降低环境污染水平。

4.2.2. 中部地区中介效应分析

从中部地区检验结果来看：方程一中技术创新对碳排放效用不显著，结合控制变量结果分析，导致我国中部地区出现技术创新不能有效降低碳排放的原因可能是：相比于沿海经济发达地区注重经济增长和生态环境保护相结合的发展模式，我国中部地区更加注重本地经济增长，甚至以牺牲环境效益为代价。方程二中技术创新的系数不显著，说明中部地区针对优化能源消费结构的技术创新不足。结合以上，在我国中部地区中介效应不显著，且低碳技术创新不能够很好的降低本地碳强度。从中部地区的分析结果可以看出，外商直接投资对碳强度具有显著正向作用，说明中部地区在吸引外商投资发展本地经济的过程中忽视了环境效益。

4.2.3. 西部地区中介效应分析

从西部地区检验结果来看：方程一和方程二中技术创新的系数均不显著，说明西部地区中介效应不显著，且技术创新不能够有效降低本地碳强度，西部地区经济水平相对落后，因此区域的发展重心为增加 GDP、提高人民生活水平。在此过程中区域环境难免有所牺牲；另外，相比于东部地区、我国西部地区高校(高新技术产业、创新型企事业单位)分布较少、从而导致区域技术创新质量和数量难以与东部相媲美。西部地区经济发展水平对碳强度具有显著的正向作用，说明当地经济发展模式会牺牲当地环境效益。

5. 主要结论及建议。

5.1. 结论

根据实证结果可以得出以下结论：

第一，样本期间内，能源消费结构具有显著的中介效应，低碳技术创新对碳强度有显著的抑制效应，其中有 37.59%是通过降低传统能源占比实现。各区域中介效应存在差异，东部地区显著中、西部地区不显著。结合我国低碳技术创新区域分布特点，可能受当地技术创新的数量和质量影响。第二，观测期间内，当前我国整体经济发展水平尚未到达 EKC 假说中的“拐点”，经济增长对碳强度存在显著的促进效应。从区域研究结果来看，东部地区经济发展水平较高，能够实现经济增长和环境效益双赢。而中部和西部地区经济增长对碳强度具有显著促进效应。第三，改革开放是我国经济取得快速增长的主要原因，而当前无论是整体还是分区域外商直接投资对我国碳强度的影响均为正，研究结果支持“污染避难所”假说。第四，样本期环境规制对碳强度有显著的促进效应，出现了环境规制的“绿色悖论”。可能是由于信息不对称、政策非完全执行有关。城市化的系数显著为负，说明当前我国城市化引起的集聚效应降低了能够降低碳强度。

5.2. 建议

随着环境问题的日益严峻，人类面临的大气污染物和温室气体减排压力也越来越大，而且导致环境问题的因素日渐多元化，单一的环境治理方案已经无法对碳排放量起到很好的抑制作用，由此本文结合我国现实情况与本文研究结果提出以下建议：第一，能源消费结构在技术创新与碳强度之间扮演者重要的角色，可以通过优化能源消费结构、降低传统能源消费比重或研发利用清洁能源来降低碳强度。第二，在制定地方减排政策时应该充分考虑当地经济水平、能源结构等因素制定适合当地的减排政策。第三，促进区域间政府合作、构建知识共享平台，以发展高质量创新为目标，拓展低碳技术应用空间。第四，

地方政府在引进外资企业时应当综合考虑经济效益与环境效益,对于高污染型企业应当慎重或拒绝引进,以免造成强度过高的环境负效益。第五,加速城乡结合建设,推进城乡一体化,提高城市化水平,充分利用规模优势达到集聚效应来降低碳强度。

参考文献

- [1] IPCC (2007) The Physical Science Basis of Climate Change (Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the International Panel on Climate Change). International Panel on Climate Change (IPCC), Geneva.
- [2] 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.
- [3] 王道平, 杜克锐, 鄢哲明. 低碳技术创新有效抑制了碳排放吗?——基于 PSTR 模型的实证分析[J]. 南京财经大学学报, 2018(6): 1-14.
- [4] 鄢哲明, 杨志明, 杜克锐. 低碳技术创新的测算及其对碳强度影响研究[J]. 财贸经济, 2017, 38(8): 112-128.
- [5] 彭永涛, 李丫丫, 卢娜. 中国低碳技术创新特征——基于 CPC-Y02 专利数据[J]. 技术经济, 2018, 37(7): 41-46.
- [6] 张鸿武, 王珂英, 爻蕴钰. 中国工业碳减排中的技术效应: 1998-2013——基于直接测算法与指数分解法的比较分析[J]. 宏观经济研究, 2016(12): 38-49.
- [7] Yan, Z., Yi, L., Du, K., et al. (2017) Impacts of Low-Carbon Innovation and Its Heterogeneous Components on CO₂ Emissions. *Sustainability*, 9, 548. <https://doi.org/10.3390/su9040548>
- [8] 沈莲花, 徐丽, 曹宗宏. 安徽省产业结构升级、技术进步与能源效率间的动态关系[J]. 科技与经济, 2017, 30(6): 106-110.
- [9] 郝新东. 中美能源消费结构问题研究[D]: [博士学位论文]. 武汉: 武汉大学, 2013.
- [10] 王勇, 王颖. 中国实现碳减排双控目标的可行性及最优路径——能源结构优化的视角[J]. 中国环境科学, 2019, 39(10): 4444-4455.
- [11] 冯宗宪, 高赢. 中国区域碳排放驱动因素、减排贡献及潜力探究[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2019, 21(4): 13-20.
- [12] 林伯强, 姚昕, 刘希颖. 节能和碳排放约束下的中国能源结构战略调整[J]. 中国社会科学, 2010(1): 58-71 + 222.
- [13] 甄红线, 张先治, 迟国泰. 制度环境、终极控制权对公司绩效的影响——基于代理成本的中介效应检验[J]. 金融研究, 2015(12): 162-177.
- [14] 苏岚岚, 彭艳玲, 孔荣. 农民创业能力对创业获得感的影响研究——基于创业绩效中介效应与创业动机调节效应的分析[J]. 农业技术经济, 2016(12): 63-75.
- [15] 温忠麟, 叶宝娟. 中介效应分析: 方法和模型发展[J]. 心理科学进展, 2014, 22(5): 731-745.
- [16] 魏巍贤, 杨芳. 技术进步对中国二氧化碳排放的影响[J]. 统计研究, 2010, 27(7): 36-44.
- [17] Bian, Y., He, P. and Xu, H. (2013) Estimation of Potential Energy Saving and Carbon Dioxide Emission Reduction in China Based on an Extended Non-Radial DEA Approach. *Energy Policy*, 63, 962-971. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.051>
- [18] Grossman, G.M. and Krueger, A.B. (1995) Economic Growth and the Environment. *Quarterly Journal of Economics*, 110, 353-377. <https://doi.org/10.2307/2118443>
- [19] Cole, M.A. and Elliot, R.J.R. (2006) Endogenous Pollution Haven: Does FDI Influence Environmental Regulation? *Scandinavian Journal of Economics*, 108, 157-178. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9442.2006.00439.x>
- [20] Antweiler, C.B. and Taylor, M. (2001) Is Free Trade Good for the Environment? *American Economic Review*, 91, 877-908. <https://doi.org/10.1257/aer.91.4.877>
- [21] 伍格致, 游达明. “绿色悖论”再探析——基于经济政策不确定性视角[J]. 系统工程, 2018, 36(10): 61-72.