

碳市场流动性与区域低碳经济转型

——基于低碳技术创新的双重中介效应分析

张修凡

(哈尔滨工程大学 经济管理学院 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 碳市场能够激发企业进行低碳技术改造,通过市场化手段减少温室气体排放,有效控制碳排放总量,激励区域经济的低碳转型。根据2013—2019年中国各季度8个试点市场的面板数据,使用混合效应假设下的Bootstrap方法,系统检验碳市场流动性通过技术创新影响区域低碳经济转型的中介效应。研究结果显示:(1)碳市场通过技术创新间接促进区域经济转型的中介效应显著;(2)碳市场可以同时通过突破式创新与渐进式创新促进区域技术创新,在混合效应假设下,存在碳市场流动性区域低碳转型的并联双重中介效应。由此,可通过增强碳市场流动性以支持技术创新进步,进而推动区域低碳转型发展。

关键词: 碳市场;流动性;技术创新;低碳转型;中介效应

中图分类号: F273.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6049(2021)06-0088-11

一、引言与文献综述

低碳经济转型是指通过机制创新、制度安排与技术创新等手段改变现有的基于化石能源的经济增长模式,实现低碳或零碳能源为支撑的可持续发展的经济发展形态^[1]。近年来,我国在低碳转型方面进行了大量研究,从转型主体角度^[2]、转型模式及路径^[3]、转型影响因素^[4]、时空格局变化和地区差异^[5]等角度进行分析。低碳经济转型以碳减排为目标,以产业结构优化、产业组织方式变更,以及经济发展方式和制度转变为重要内容。低碳经济的发展依赖“低碳技术”的突破,也需要碳市场的支撑力量^[6]。2017年底正式启动的全国统一碳排放权交易市场是市场机制下控制温室气体排放、推动低碳经济转型的重要制度创新和政策工具,完善的碳金融秩序与交易体系有助于碳排放权的合理分配、聚集资本、风险管理以及公司治理,对推动区域低碳经济转型发挥重要作用。流动性是实现价格发现作用和市场有效性的重要前提,是衡量市场活跃度和成熟度的重要指标。从流动性的角度看,碳排放权交易可通过现金、等价物、可转换债券或实物交易等方式进行。市场的流动性指标从交易量、价格和交易次数等角度反映出市场的有效性。对于碳市场而言,流动性在很大程度上影响了碳资产预期收益,进而对企业减排决策和低碳技术创新产生影响。因此,碳市场的流动性对于我国低碳经济转型的作用不容忽视。在碳市场不断发展的背景下,碳市场的流动性进一步增强。根据中碳指数2014—2019年数据,我国碳市场交易总量呈现不断上升的趋势,并于2016年下半年逐步趋于稳定,但我国的

收稿日期:2021-08-20;修回日期:2021-10-20

基金项目:国家社会科学基金项目“基于产业组织理论的产业技术创新动力机制研究”(19AGL007);国家自然科学基金项目“基于自组织的产业结构演化机制与模型研究”(71373059)

作者简介:张修凡(1993—),女,黑龙江佳木斯人,哈尔滨工程大学经济管理学院博士研究生,研究方向为低碳经济、产业技术创新。

碳市场目前仍然处于发展的初级阶段,与成熟碳市场(如 EU ETS 欧盟碳排放权交易市场)相比仍有较大差距。

在低碳经济转型的进程中,低碳技术创新是降低长期减排成本,实现可持续发展的重要因素^[7]。低碳技术遵循低能源消耗特性,打破了一般技术创新的高碳性技术锁定模式,创新性程度更高,更具前沿性和风险性^[8]。总结学者对于低碳技术创新的划分方式可以发现,低碳技术创新模式从创新目标和实现方式的角度主要划分为突破式创新和渐进式创新两种类型。其中,突破式创新以可再生能源技术为核心,对现有技术或工艺进行大幅改造,实现技术的彻底性研发革新^[9]。突破式创新能力的提升将形成全新的技术范式和发展路径,打破传统的碳锁定状态。而渐进式创新从现有的技术范式出发,进行小幅度的渐进连续式创新,对现有技术无法适应低碳环境的方面进行改革,重点在于技术的模仿、引进和改进^[10]。毕克新等^[11]指出,低碳技术创新模式正在经历对前沿技术的改造创新阶段,并已逐渐深入到突破式创新阶段。技术创新这一动态过程在很大程度上依赖于经济环境得以实现,而市场环境是重要的一个环节。已有学者指出,碳金融市场支持企业进行回收风险更高、研发周期更长的低碳技术创新。碳排放权交易市场的流动性和规范化能够推动低碳技术的共享和转让,这种作用的积累会促进区域经济结构逐步向“去工业化”和“后工业化”的低碳经济发展方式转型^[12]。因此,碳市场是影响区域创新活动与低碳经济转型的重要中间市场。目前对技术创新的相关学术研究非常丰富,但较少从低碳层面对碳市场发挥作用的机理进行深入分析。

如何深入全面地认知碳市场流动性对于低碳经济转型产生的影响,以及碳市场的流动性是否形成通过技术创新而推动低碳经济转型的路径,应进一步深入探讨。本文首先根据企业低碳技术创新模式的划分方式,从理论角度归纳得到碳市场通过促进突破式创新和渐进式创新而推动区域低碳经济转型的两条路径。然后对 2013—2019 年各季度我国 8 个试点市场的面板数据进行测度,使用混合效应假设下的 Bootstrap 方法,系统检验碳市场流动性通过技术创新影响区域低碳经济转型的中介效应,并进行多重共线性检验和稳健性检验,实证研究了碳市场流动性的增加促进区域低碳转型的效果和路径。本文可能的创新性在于:(1)已有文献重点分析了碳市场发展趋势,探究其与产业结构调整、技术创新以及其他环境政策产生的协同效应,对碳市场流动性的考察以现状和影响因素分析为主,忽视了其对于低碳经济转型可能产生的作用。本文基于我国推动低碳经济转型并积极建设全国碳排放权交易市场的背景,研究碳市场流动性对我国低碳经济转型产生的作用效果;(2)整理归纳得出碳市场流动性对低碳经济转型可能的影响路径,即突破式技术创新效应和渐进式技术创新效应,并基于路径提出相关假设,实证检验了两条路径是否存在,最终得出碳市场流动性对低碳经济转型的影响路径;(3)现阶段有关碳市场流动性如何作用于低碳技术创新的研究较为零散,多从资本市场的静态角度出发,忽略了碳市场不断发展带来的流动性动态变化与非线性的作用。本文在研究碳市场流动性通过技术创新影响低碳经济转型的过程中,将技术创新进一步细分为突破式创新和渐进式创新,分析了突破式和渐进式技术创新对于区域低碳经济转型产生的相互交替作用。

二、理论分析与假设提出

碳市场流动性对于区域低碳经济转型存在多条影响路径。碳交易本质是一种金融活动,市场机制能够合理有效配置碳排放资源,企业在权衡购买碳排放权与低碳技术的成本后进行决策,碳交易价格与技术交易价格形成供需关系^[13]。在具有较强流动性的碳市场中,金融资本与基于低碳技术的实体经济联系更加紧密。金融资本加速流向创造碳资产的项目与企业,鼓励企业进行低碳技术创新。碳市场通过参与企业低碳项目投资融资等方式激励企业内部技术创新产生外部收益,进而转换为技术研发主体的内部收益,从而提高区域低碳经济转型能力。在流动性较低的碳市场中,碳排放价格无法提供明确的市场价格信号,可能打击企业参与碳市场的积极性,降低企业进行低碳技术创新的效率,增加整体减排成本。本文基于对现有研究和理论的整理,认为碳市场流动性对区域低碳经济转型有两条可能的影响路径。

（一）突破式创新效应

根据突破式创新的定义可知,颠覆性的技术突破对于资金需求的突出特征是流动性大、门槛低、长期稳定和 risk 承受力强。流动性较强的碳金融市场能够支持回收风险更高、研发周期更长的突破式技术创新,从而从长远角度实现区域低碳经济转型^[14]。不同于一般形式的金融市场,碳排放权交易与绿色信贷等投融资手段青睐于形成创新型低碳技术的企业,为积极参与碳市场的企业形成良好的投融资环境,减少风险敞口,进而促进低碳技术的产生^[15]。碳市场在较差的流动性下,流入的资金量有限,可能使得碳价低迷,并从要素市场进一步影响能源市场的定价,加强企业的减排压力。从长远来看,碳市场的流动性对于企业突破式技术创新具有深远影响。

碳市场流动性通过突破式技术创新对低碳经济转型产生的效应,体现为其能为企业提供更持久的研发动力与资金支持,进而有助于区域低碳经济转型能力的提高。突破式创新^[16]的“相对有效性”使其对于投融资环境与动力模式要求较高,而碳市场较强流动性的最直接作用就是为具有较强低碳技术创造能力的企业提供支持。自主低碳技术的形成是区域低碳经济转型能力的必要条件。Plank and Dobliger^[17]研究发现企业进行突破式技术创新时,当减排要求与自身需求缺口过大时,企业会降低突破式创新的持续性,选择购买碳排放权以完成减排目标,碳价呈现上升趋势。在碳市场价格信号的传导下,企业积极开发低碳技术,从而实现中长期的减排目标,对区域低碳经济转型产生促进作用。基于此,提出假设 1:

假设 1: 碳市场流动性提高企业的突破式创新能力,进而促进区域低碳经济转型。

（二）渐进式创新效应

渐进式创新以产品和工艺的改造创新为目标,以生产链纵向整合等为手段,遵循同类企业的创新开发路径,对先进技术与产品进行消化吸收。因此,渐进式创新需要企业间的技术贸易而吸收先进技术,而碳交易市场就是企业实现技术贸易的重要市场。一方面,在碳交易市场中,企业可以直接在交易所进行低碳技术的转让与交易;另一方面,碳市场具有金融属性,为企业资金的外部支持,支撑企业渐进式创新能力的提升,进而形成区域低碳经济转型能力。碳市场流动性对低碳经济转型的渐进式创新效应表现为通过推动技术交易与创新资本积累两种方式促进低碳经济转型。渐进式创新投资较少、风险低,融资需求的主要特征是稳定和持续性。流动性较弱的金融市场意味着企业参与度不足,已有的技术能力无法有效进行重组与转化,对低碳经济转型的提升效果具有局限性^[18]。在碳市场流动性较弱的地区,碳交易量很小,碳金融市场工具较少,可能导致企业在低碳技术创新过程中因资金缺乏遇到瓶颈。在较强的流动性下,碳市场的规模优势在满足企业逐渐增加的资金需求和降低成本方面具有特定的优势,更强的流动性能够与渐进式创新的短期融资需求相匹配,更好地满足企业创新的资金需求。

渐进式创新有助于企业对于不满足低碳要求的生产等环节形成差异化的创新要素升级,弥补现有技术资源的不足^[19]。渐进式技术创新可以有针对性地对生产管理环节进行改革,提高企业吸收和转化能力,对低碳经济转型会产生积极影响^[20]。然而谢卫红等^[21]却认为改造现有的技术可能无法有效与其他环节衔接,自身吸收能力不足无法实现企业对外来知识技术的有效转化,此时渐进式技术创新会产生抑制作用。政策环境及财政支持也会导致渐进式创新对低碳经济转型的影响产生不一致结果。因此,渐进式创新对低碳经济转型产生的影响还有待进一步确定。基于此,本文提出如下假设:

假设 2: 碳市场流动性提高企业的渐进式创新能力,进而促进区域低碳经济转型。

三、研究设计

（一）主要变量测度

1. 被解释变量: 区域低碳经济转型效果指标(LCT)

区域低碳经济转型关联生态环境、经济增长质量和民生社会等多方面,本文参考已有研究构建的低碳转型能力、动力与效果的评价指标体系,综合考察低碳经济转型在转变经济发展方式、生态修复、

民生社会、能源利用和产业转型等领域的效果,体现全面协调可持续的低碳发展要求,设定包含生态环境修复、经济增长质量、能源合理利用、民生社会和产业转型动力5个方面的指标^[22-25]。在同一准则层内,为避免区域低碳经济转型效果评价指标的冗余,计算每一个评价指标的方差膨胀因子VIF,剔除VIF大于10的评价指标,从而消除低碳经济转型效果评价指标间的多重共线性,采用层次分析法获得区域低碳转型效果指标权重。

表1 低碳经济转型效果指标体系及权重

要素层	指标层	指标解释及计算	权重
生态环境修复	工业固体废弃物综合利用率增幅	从中国区域经济统计年鉴中获得并计算	0.052 8
	工业废水排放达标率增幅	达标率 = 工业废水排放达标量/工业废水排放总量	0.061 4
	生活垃圾无害化处理率增幅	从中国区域经济统计年鉴中获得并计算	0.055 0
	建成区绿化覆盖率增幅	从中国区域经济统计年鉴中获得并计算	0.064 7
	单位工业增加值用水量降幅	从中国水资源公报获得并计算	0.037 1
经济增长质量	森林覆盖率增幅	从中国森林资源报告获得并计算	0.039 5
	人均地区生产总值增幅	人均地区生产总值 = 地区生产总值/地区总人口	0.042 5
	地区生产总值指数增幅	上年 = 100	0.059 7
	人均地方财政收入增幅	人均地方财政收入 = 地区财政收入/地区总人口	0.046 7
	人均固定资产投资增幅	人均固定资产投资 = 地区财政收入/地区总人口	0.039 9
能源合理利用	人均碳排放量降幅	人均碳排放量 = 地区二氧化碳排放量/地区总人口	0.048 2
	三废综合利用产值增幅	从中国区域经济统计年鉴中获得并计算	0.041 6
	单位GDP电耗降幅	单位GDP电耗 = 地区用电量/GDP	0.068 1
产业转型动力	基础产业超前系数	(基础产业产值/GDP) - 1	0.0374
	霍夫曼系数	消费资料工业净产值/资本资料工业净产值	0.071 2
	高新技术产业利润增幅	从行业研究数据库获得并计算	0.034 5
	采矿业固定资产投资占比增幅	从行业研究数据库获得并计算	0.058 4
民生社会	空气质量优良率	从国家生态环境部获得	0.033 4
	每万人拥有公共汽车数量增幅	公共交通工具标台数/人口(万人)	0.057 3
	每万人拥有绿地面积增幅	绿地面积公顷数/人口(万人)	0.050 6

本文选取的样本为2013—2019年8个试点碳市场的面板数据。经济增长质量指标数据和产业转型动力数据来源于历年《中国统计年鉴》《中国科技统计年鉴》,地区财政局网站和《深圳统计年鉴》,能源合理利用指标数据来自《中国能源统计年鉴》(2014—2020年)、《中国城市统计年鉴》(2014—2020年)、《中国区域经济统计年鉴》(2014—2020年)、碳排放量的测算采用含碳能源消费量×碳折算系数×碳气化系数的计算方法,根据国家发改委能源研究所公布数据,碳折算系数为0.67,碳气化系数为3.67,数据均采用Excel、Eviews、Stata和R处理得到。低碳转型效果评价得分越高,表明区域低碳经济转型效果越好。

从8个试点省市的低碳经济转型综合得分能够看出,我国传统粗放型的发展模式正在逐渐改变。2013年起,各试点市场陆续开始启动,能源利用与产业结构的调整对低碳经济产生拉动效应。2013—2019年,北京、上海、深圳、天津、广东

表2 2013—2019年8个试点省市低碳经济转型效果的综合得分

年份	北京	上海	深圳	天津	湖北	广东	重庆	福建
2013	0.612 1	0.623 9	0.669 0	0.615 9	0.700 1	0.682 1	0.502 3	0.496 5
2014	0.646 6	0.585 2	0.673 2	0.605 7	0.685 7	0.675 8	0.538 6	0.596 1
2015	0.549 0	0.590 0	0.514 9	0.597 1	0.626 8	0.596 5	0.575 1	0.447 4
2016	0.531 6	0.543 9	0.525 2	0.531 7	0.625 3	0.634 0	0.607 4	0.595 6
2017	0.670 1	0.675 3	0.643 9	0.555 8	0.648 2	0.622 6	0.622 0	0.619 4
2018	0.621 2	0.633 3	0.616 9	0.583 3	0.615 0	0.621 6	0.595 5	0.583 9
2019	0.633 9	0.613 7	0.660 0	0.603 0	0.642 9	0.662 6	0.615 1	0.584 4

和湖北的低碳经济转型效果更好。相对而言,重庆和福建的低碳经济转型效果稍逊,可能因地理、资源和经济发展等不同原因造成经济转型步伐的相对落后。

2. 核心变量: 碳市场流动性指标(LM)

少有文献专门对碳市场流动性进行研究。碳市场存在企业被动履约情况。即在履约前较短时间,企业纷纷进入市场完成交易以实现配额目标。在非履约季,部分碳市场甚至出现无交易的断链情况,使得碳价格无法完全反映碳减排资产的价值。因此,在分析碳市场流动性时,暂不考虑交易成本与价格两个维度。借鉴邓茂芝等^[26]的方法,考虑交易速度和交易连续性的度量方式,即:

$$LM_x = [t_0 + \frac{t_x}{Deflator}] \frac{21x}{NoTD} \quad (1)$$

其中 x 为所取的月份数量, LM_x 为流动性指标, t_0 为 x 月内成交的交易日个数, t_x 为 x 个月内每个交易日的日换手率之和(日换手率为当日成交量占可流通总量的比例), $NoTD$ 为所选月份内总交易日个数, $Deflator$ 为缩减系数,在计算 LM_x 时需要调整其取值,使所有月度数能满足 $0 < \frac{t_x}{Deflator} < 1$ 。

换手率采用下列公式进行计算:

$$t_{ij} < \frac{v_{ij}}{C_j} \quad (2)$$

其中 t_{ij} 为第 i 日内交易品种 j 的换手率, v_{ij} 为第 i 日内交易品种 j 的交易量, C_j 为整个市场上交易品种的可流通总量,即各年度国内试点碳市场的配额总量。

考虑样本数量的充足性及市场的周期性,本文以季度数据来分析碳市场流动性。以3个月为时间窗口,将交易日个数作为流动性的重要决定因素,分析碳市场交易不连续情况导致的“锁定风险”。 LM_x 指数体现了碳市场流动性的动态性,碳市场的交易数据取自各试点市场碳排放权交易中心,配额分配总量来源于对应的年度碳排放配额分配方案。

3. 中间变量

(1) 渐进式技术创新能力($INOV1$)。根据技术创新的定义与划分方式,企业渐进式低碳技术创新能力应主要体现对现有技术的改造以满足低碳环境需求。企业渐进式创新的关键在于对先进技术的学习能力,对市场进行把握从而及时获取技术与产品以适应企业发展。由此可见,对技术的获取与改进十分重要。在变量的选取方面,参考杨晓龙^[27]的研究,选取各地区季度技术获取和改造经费支出与季度GDP的比值代表企业渐进式技术创新能力。技术和产品引进支出数据来自《中国科技统计年鉴》(2012—2020年)各期中各地区统计结果。GDP数据来源于国家统计局中各地区的季度统计数据。

(2) 突破式技术创新能力($INOV2$)。突破式创新是企业内部进行独立研发活动,包括基础研究、应用研究、试验发展等活动,专利数量反映企业技术创新的水平。为进一步增强变量的代表性,参考原毅军和谢荣辉^[28]的做法,考虑专利授权标准的稳定性与客观性及相关数据可得性,使用欧洲专利局和美国专利局联合颁布的合作专利分类法的Y02类下的专利数量对低碳技术创新水平进行测度,仅保留中国公民于中国大陆境内进行申请、授权且无争议的专利。从专利地图的视角考察低碳技术的创新态势和特征,具有系统化和结构化的特征,更适合于对低碳技术整体创新态势进行追踪与研究。检索时间为2020年10月15日,采用指令检索法进行专利检索,检索式为 $CPC = (Y02) AND ((PNC = ("CN")))$,并按照年份与专利归属进行手工分类,以各季度新增专利数量代表突破式创新能力。数据来源于万象云检索系统、Innojoy检索系统。

4. 控制变量

此外,参考以往研究,以下变量可能在一定程度上影响企业低碳技术创新能力,影响区域低碳经济转型的效果,将其作为控制变量。

(1) 企业规模(ES)。

规模大的企业通常具有更雄厚的资金实力以完成研发创新,最大程度降低减排成本。因此,规模不同的企业在进行减排活动时具有不同的边际成本,通常选用企业员工总数、资产总额和营业收入测度企业规模。本文将区域就业人员总数取对数衡量企业规模,数据来源于《中国人口和就业统计年鉴》。

(2) 企业年龄(EA)。

根据 Greiner and Hanusch^[29]的学习理论,企业年龄是“干中学效应”的一个代理变量。因此,本文选取区域内企业年龄的均值作为控制变量,根据企业成立时期和观测期计算得到,计算数据来源于国家企业信用信息公示系统。

(3) 行业变量(Industry)。目前我国碳排放权交易的实施针对试点省市里面的高碳排放行业,因此,企业是否属于纳入行业也会带来研发创新的差异。因此,本文设置行业变量作为控制变量,以区域内纳入重点排放监管的企业占企业数量的比值测度。

(4) 财政科技支出(FE)。林小玲^[30]采用2007—2017年省际面板数据进行实证检验,表明财政科技支出促进了技术创新,而银行部门发展对财政科技支出绩效影响不显著。因此,本文选择财政科技支出作为控制变量。财政科技投入数据来源于《全国科技经费投入统计公报》(2014—2020年)的统计数据。

(5) 政策性科技贷款(PL)。技术创新过程存在市场失灵,包括知识积累过程中的技术外部性和协调创新过程中的金钱外部性,这为技术创新需要政府干预提供了依据^[31]。相较于其他公共政策,政策性贷款能更有效地弥补因正外部性而带来的供给量不足,有利于科技创新的发展^[29]。因此,本文选择政策性科技贷款作为控制变量。政策性科技贷款数据来源于三大政策性银行年度报告及私募通数据库。

(6) 国有企业占比(State)。国有企业由于性质较为特殊,在区域低碳转型当中起到“双重”作用。由于国有企业的经济效益目标相对而言不明确,有可能带来全要素生产率的损失^[32]。同时,国有企业更易获得技术创新相关政策和资金支持,可能对区域低碳经济转型产生一定的正向影响。本文采用历年省域固定资产形成总额中国有资产的比例来表示国有资产比重。

表3 碳市场季度流动性测度

时间	北京	上海	深圳	天津	湖北	广东	重庆	福建
2013.12	0.144	0.226	0.495	—	—	0.501	—	—
2014.3	0.287	0.626	0.661	0.349	—	0.548	—	—
2014.6	0.247	0.331	0.717	0.416	0.426	0.624	—	—
2014.9	0.322	0.376	0.515	0.462	0.488	0.690	0.276	—
2014.12	0.311	0.452	0.556	0.441	0.457	0.606	0.282	—
2015.3	0.372	0.366	0.771	0.413	0.563	0.558	0.324	—
2015.6	0.342	0.332	0.732	0.392	0.453	0.581	0.260	—
2015.9	0.416	0.251	0.519	0.521	0.519	0.631	0.486	—
2015.12	0.300	0.344	0.650	0.486	0.593	0.534	0.339	—
2016.3	0.367	0.414	0.509	0.529	0.652	0.535	0.267	—
2016.6	0.401	0.449	0.561	0.311	0.543	0.564	0.210	—
2016.9	0.503	0.377	0.744	0.376	0.349	0.522	0.219	—
2016.12	0.414	0.233	0.673	0.399	0.225	0.439	0.393	0.119
2017.3	0.384	0.284	0.684	0.465	0.257	0.558	0.289	0.168
2017.6	0.458	0.242	0.710	0.421	0.472	0.311	0.302	0.219
2017.9	0.337	0.408	0.565	0.462	0.266	0.466	0.238	0.220
2017.12	0.363	0.383	0.754	0.471	0.273	0.470	0.260	0.247
2018.3	0.488	0.366	0.726	0.463	0.132	0.578	0.276	0.360
2018.6	0.403	0.509	0.759	0.430	0.245	0.452	0.282	0.197
2018.9	0.406	0.496	0.700	0.338	0.186	0.513	0.324	0.206
2018.12	0.342	0.414	0.571	0.550	0.329	0.508	0.260	0.297
2019.3	0.374	0.360	0.677	0.498	0.291	0.582	0.386	0.294
2019.6	0.420	0.328	0.781	0.519	0.358	0.597	0.339	0.348
2019.9	0.343	0.384	0.694	0.393	0.291	0.435	0.267	0.302
2019.12	0.438	0.271	0.738	0.435	0.492	0.569	0.310	0.387

注:天津碳市场于2014年1月启动交易,湖北碳市场于2014年5月启动交易,重庆碳市场于2014年6月启动交易,福建碳市场于2016年9月启动交易。

四、实证检验

(一) 模型构建

考虑样本量的充足性,本文以各变量季度数据构建模型。在 Eviews 软件中使用二次插值方法 (Quadratic) 将低频时间序列数据转换到高频时间序列数据,将区域低碳经济转型指标(LCT)、渐进式创新能力(INOV1)、企业规模(ES)、企业年龄(EA)、财政科技支出(FE)、政策性科技贷款(PL)、国有企业占比(State)的年度数据转化为季度数据,并对各变量取对数以使模型更平稳。构建双重中介效应模型探究碳市场流动性通过技术创新对区域低碳转型效果的影响路径:

$$LCT_{it} = \alpha_1 + \beta_1 LM_{it} + \gamma_1 \sum CV_{it} + \varepsilon_{it} \tag{3}$$

$$\ln INOV1_{it} = \alpha_2 + \beta_2 LM_{it} + \gamma_2 \sum CV_{it} + \varepsilon_{it} \tag{4}$$

$$\ln INOV2_{it} LCT_{it} = \alpha_3 + \beta_3 LM_{it} + \gamma_3 \sum CV_{it} + \varepsilon_{it} \tag{5}$$

$$LCT_{it} = \alpha_4 + \beta_4 LM_{it} + \rho_4 \ln INOV1_{it} + \varphi_4 \ln INOV2_{it} + \gamma_4 \sum CV_{it} + \varepsilon_{it} \tag{6}$$

其中,碳市场流动性对区域低碳经济转型的直接效应为 β_1 。通过渐进式创新施加影响的中介效应为 $\beta_2\rho_4$,通过突破式创新施加影响的中介效应为 $\beta_3\varphi_4$ 。

(二) 实证分析

1. 中介效应检验

在进行中介效应检验前,首先检验自变量之间是否存在多重共线性以避免模型估计失真问题。计算各个回归系数的方差膨胀因子 VIF 的结果显示,所有方差膨胀因子中最大为 2.917,远小于临界值 10。因此,可排除多重共线性的存在。表 3 为模型(3)至模型(6)的中介效应的检验结果。

表 4 中介效应检验结果

变量	(1) LCT	(2) INOV1	(3) INOV2	(4) LCT
LM	0.519 8** (0.133 2)	0.365 9** (0.120 1)	0.523 8*** (0.149 1)	0.729 4** (0.273 8)
lnINOV1	—	—	—	0.120 7** (0.094 2)
lnINOV2	—	—	—	0.158 1** (0.073 7)
lnES	0.107 7** (0.033 9)	0.186 0*** (0.061 9)	0.124 2** (0.055 8)	0.111 5*** (0.044 2)
lnEA	0.140 7* (0.041 2)	0.222 6** (0.054 3)	0.153 6** (0.092 9)	0.170 8** (0.136 2)
Industry	0.100 8** (0.135 4)	0.093 8* (0.124 9)	0.125 8* (0.205 3)	0.089 3** (0.201 3)
lnFE	0.171 1*** (0.354 3)	0.120 3** (0.059 7)	0.135 5*** (0.760 7)	0.199 5** (0.022 9)
lnPL	0.144 5** (0.190 0)	0.131 2** (0.151 6)	0.192 6* (0.061 5)	0.216 8** (0.097 6)
State	0.028 8** (0.046 3)	0.088 3* (0.129 2)	0.048 8*** (0.120 6)	0.032 8** (0.067 3)
CONS	-0.119 2*** (-0.155 4)	0.042 2** (0.009 0)	0.071 3*** (0.017 5)	-0.024 4*** (0.011 6)
R ²	0.801 2	0.796 1	0.834 6	0.796 8
F	135.912 8**	146.458 7***	156.345 9**	112.094 8***
Obs	182	182	182	182

注: *、**、*** 分别表示在 10%、5%、1% 的显著性水平下

分析表 4 中的实证结果可以发现,碳市场流动性、渐进式技术创新与突破式技术创新对区域低碳经济转型发展均具有正相关作用,接下来的问题是,目前碳市场流动性对区域低碳经济转型效果的具体直接效应和间接效应有多大?在碳市场流动性影响区域低碳经济转型效果的过程中是否只有渐进式技术创新和突破式技术创新这两个中介变量?两种技术创新均发挥怎样的效应?需要进一步分析。

如表 5 所示,渐进式技术创新的效应为 0.093 7,而突破式技术创新的效应为 0.115 9。突破式技术创新能力的正效应大于渐进式技术创新能力的正效应。间接效应占总效应的 41.384 3%,直接效应占总效应的 58.615 7%,这表明目前技术创新能力在区域低碳经济

显著,括号内为 t 值。http://www.cnki.net

表5 中介效应分析

路径	效应值	Bootstrap 标准误	Bootstrap 95% 区间		标准误	P 值	95% 区间		相对中介 效应占比
			下限	上限			下限	上限	
总效应	0.729 4	—	—	—	0.098 4	0.000 0	0.409 2	0.823 7	—
直接效应	0.519 8	—	—	—	0.081 6	0.000 0	0.391 5	0.825 8	58.615 7
间接效应	0.209 6	0.069 4	0.119 8	0.251 6	—	—	—	—	41.384 3
INOV1	0.093 7	0.051 9	0.056 7	0.159 2	—	—	—	—	18.500 5
INOV2	0.115 9	0.094 8	0.052 4	0.302 6	—	—	—	—	22.883 8
INOV1 INOV2	0.234 6	0.096 1	0.107 5	0.356 2	—	—	—	—	—

转型领域的运用程度还应进一步提高。同时,间接效应 INOV1-INOV2 的 Bootstrap 95% 区间下限为 0.107 5,上限为 0.356 2,表明间接效应显著;而直接效应下限为 0.391 5,上限为 0.825 8,表明直接效应也显著。因此,技术创新能力在碳市场流动性影响区域低碳经济转型的过程中属于不完全中介,可能存在其他中介变量。

2. 稳健性分析与检验

(1) 回归分析与对应检验

为进一步确定渐进式技术创新能力和突破式技术创新能力是否为碳市场流动性影响区域低碳转型的中介变量,使用面板数据随

表6 Hausman 检验结果

公式	(1)	(2)	(3)	(4)
Hausman 检验值	42.51(7)	38.72(7)	68.54(7)	47.991(9)
P 值	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0

机效应/固定效应假设,对模型进行回归分析与对应检验。对各公式进行 Hausman 内生性检验以选择随机效应和固定效应模型,选取有效估计值的关联矩阵进行计算,结果如表 6 所示。

根据检验结果,对以上公式使用固定效应模型。首先对全部公式进行对应的面板数据回归估计,得到结果如表 7 所示。

表7 面板数据回归结果

被解释变量	(1) LCT	(2) lnINOV1	(3) lnINOV2	(4) LCT
LM	0.664 8*** (0.081 8)	0.111 8*** (0.022 9)	0.146 3** (0.032 8)	0.795 1*** (0.1637)
lnINOV1	0.096 7** (0.028 4)	0.105 9** (0.086 5)	0.037 8* (0.018 6)	0.160 9** (0.0513)
lnINOV2	0.127 3** (0.032 6)	0.106 8** (0.027 9)	0.075 6*** (0.022 1)	0.132 7** (0.035 8)
lnES	0.107 5* (0.052 7)	0.207 3 (0.095 3)	0.109 9*** (0.035 1)	0.109 3** (0.026 6)
lnEA	0.099 6*** (0.019 8)	0.182 6*** (0.109 7)	0.103 1*** (0.028 4)	0.112 6** (0.042 1)
Industry	0.110 4*** (0.035 5)	0.124 8*** (0.094 2)	0.108 7 (0.064 7)	0.124 1** (0.036 6)
lnFE	0.219 5 (0.498 8)	0.623 6*** (0.189 2)	0.011 9* (0.057 5)	0.103 9** (0.056 1)
lnPL	0.132 1*** (0.162 4)	0.035 0*** (0.030 9)	0.058 3 (0.067 4)	0.209 3*** (0.116 8)
State	0.167 7*** (0.122 7)	0.643 4 (0.160 8)	0.417 4* (0.146 8)	0.213 7*** (0.103 4)
CONS	1.629 2* (0.057 3)	1.066 2 (0.396 6)	0.872 7* (0.054 8)	0.112 8** (0.065 6)

在面板数据随机/固定效应假设下,碳市场流动性对区域低碳转型的直接效应显著,与混合效应假设结论一致。

(2) 中介效应检验

利用面板数据随机/固定效应假设回归结果进行中介效应检验。由于存在两条潜在的中介效应路径,在进行个别中介效应检验基础之上,对总体中介效应进行检验。总体中介效应检验可应用多元 Delta 检验方法。从表 8 可以看出,在随机/固定效应假设下,碳市场流动性对区域低碳转型的总体中介效应以及通过技术创新促进区域低碳转型的中介效应检验结果显著,与混合效应假设一致。

六、研究结论与政策启示

(一) 研究结论

本文研究结果表明,碳市场流动性以技术创新作为中介变量影响区域低碳转型的作用显著。碳市场流动性的扩大,即碳交易活动的频繁

注:***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的显著性水平下显著,括号里的数值为标准误差项。

会显著影响技术创新能力,并进一步影响区域低碳经济转型效果,碳市场与区域低碳转型之间由市场机制而形成关系存在。在不同的碳市场流动性背景下,创新主体的融资结构、风险与相对价格发生变化,

表8 中介效应检验结果

路径	Sobel Test	Aroian Test	Goodman Test
突破式创新—区域低碳转型	3.053 5(0.003 4)	3.091 5(0.002 4)	3.096 7(0.002 6)
渐进式创新—区域低碳转型	2.475 2(0.034 3)	2.472 8(0.014 6)	2.489 8(0.015 6)
Delta 检验	With Sigma Unbiased	With Sigma First	With Second
总体中介效应检验	2.231 8(0.031 6)	2.237 1(0.014 3)	2.216 6(0.014 6)

注:括号里的数值为对应的P值。

两种技术创新模式交替发挥对区域低碳转型的作用。中介效应实证结果表明:(1)碳市场流动性通过市场效应鼓励技术研发与资本积累,从而对区域低碳经济转型效果具有促进作用。(2)通过划分低碳技术创新的模式,发现碳市场流动性对突破式创新和渐进式创新能力均有促进作用。创新个体通过低碳项目投融资等方式参与碳市场获得流动性投资资金等外部支持,减少风险敞口,并可在交易所进行技术转让与贸易,实现技术引进与改造,从而实现技术创新,进而有效促进低碳经济转型。在碳市场流动性强地区,综合发挥两种创新模式的积极影响。应根据区域碳市场的发展情况,积极发挥两种创新模式对低碳经济转型的重要作用。

本文的理论贡献在于:(1)深化并丰富了碳市场流动性与区域低碳经济转型关系的研究。首先,以往低碳经济转型的相关研究中,主要以产业结构转型和技术创新作为转型动力,忽略了碳市场快速发展对低碳经济转型带来的影响。但随着相关理论研究的不断深入,以及碳市场流动性不断提高,碳交易市场和碳金融场所呈现的作用逐渐展现。本文引入碳市场流动性,探讨碳市场流动性为区域低碳经济转型带来的影响效果。其次,在以往研究创新的主题中,多从技术创新的模式与绩效展开,针对低碳领域的研究较少,本文将低碳技术创新与碳市场融合到一个研究框架中进行分析,得出碳市场流动性通过技术创新而对区域低碳经济转型带来影响。(2)丰富了碳市场流动性对企业低碳技术创新影响的相关研究。现有文献分别就技术创新与碳交易市场、碳金融市场进行了较丰富的研究,较少从碳市场流动性出发,分析其促进企业技术创新的机制与动力。

(二) 政策启示

碳市场的本质在于提供碳排放权与低碳技术交易的途径,碳市场的活跃程度对区域低碳经济转型的效果影响显著。同时,碳市场与低碳技术创新之间的积极关系,将创新生产函数与碳市场联系起来,提出了碳市场可以引导低碳技术创新并对区域低碳经济转型发挥作用的理论观点。根据技术创新的划分方式,碳市场流动性影响区域低碳转型存在两条作用路径,即存在渐进式创新与突破式创新并列作为中介变量的并联多重中介效应。这与碳市场流动性对技术创新的影响具有动态变化的特征有关。政府在激励低碳经济转型的相关政策部署中,应充分重视碳市场的发展情况,提高区域碳市场的流动性并完善相关市场机制^[33]。为有效发挥碳市场流动性对区域低碳经济转型的推进作用,推动我国低碳经济的发展,基于上述研究结论,本文得到以下政策启示:

(1) 增大碳市场的体量。完善全国碳排放权交易市场建设,为创新主体获取多元外部融资支持提供便利;另一方面,促进碳排放权交易在市场上的实质发生,监督纳入企业积极实现履约,从而提高市场的流动性。鼓励企业通过碳交易所实现低碳技术的转让与贸易,从而实现渐进式技术创新能力的提高,对于碳市场流动性较低的地区,渐进式技术创新能力的提高对于区域低碳经济转型具有重要作用。而低碳技术的改进与获取能够进一步增加碳市场供给的良性循环。

(2) 加快碳市场制度与产品创新。碳市场应从制度、产品和模式等方面加快金融创新,以增强碳金融支持能力,从而快速提高企业的突破式技术创新能力。针对目前碳市场流动性不足的现状,碳远期产品的推出能够提高碳交易市场的活跃度及有效性。碳远期交易进一步使得碳交易市场的流动性增强,而且有助于不利风险的合理转移,使碳市场的参与者通过碳金融衍生品的运行与管理达到规避

风险及提升利润的目标。市场制度与产品的创新能够实现低碳技术创新与碳市场的互动和结合,降低突破式技术创新的融资门槛,发挥对区域低碳经济转型能力提升的作用。

(3) 加强碳市场的联通。目前我国正依托现有的碳交易市场,构建联通的全国碳排放权交易市场。碳市场的覆盖范围的扩大能够使得优质碳市场形成的货币知识外部性被更多创新主体感知。在此基础上,可进一步建立更完善的低碳技术数据库。通过碳市场,企业可实现先进低碳技术的共享与经验交流,为获取技术创新的信息提供便利,充分发挥低碳技术对区域低碳经济转型的正外部性,最终实现区域低碳转型的效果。

参考文献:

- [1]董静,黄卫平.西方低碳经济理论的考察与反思——基于马克思生态思想视角[J].当代经济研究,2018(2):37-45.
- [2]钱洁,张勤.低碳经济转型与我国低碳政策规划的系统分析[J].中国软科学,2011(4):26-33.
- [3]周灵.基于Tapio模型的我国低碳经济发展研究[J].经济问题探索,2019(6):17-25.
- [4]岳婷,龙如银,陈红.高碳能源低碳化利用影响因素与对策[J].科技管理研究,2016(21):258-262.
- [5]王维,张涛,石国宁.长江经济带城市低碳经济时空格局研究[J].吉林师范大学学报(自然科学版),2019(1):139-146.
- [6]曹军新.低碳经济的市场推动者:国外的经验与我国的政策困境[J].经济社会体制比较,2011(1):187-195.
- [7]王维国,刘丰.低碳经济转型下区域技术创新与跨区技术转移研究[J].东南学术,2016(2):68-78.
- [8]郭宇,王晰巍,贺伟.基于文献计量和知识图谱可视化方法的国内外低碳技术发展动态研究[J].情报科学,2015(4):139-148.
- [9]肖振鑫,高山行,高宇.企业制度资本对突破式创新的影响研究——技术能力与探索性市场学习的中介作用[J].科学与科学技术管理,2018(5):101-111.
- [10]李妹,高山行.环境不确定性对渐进式创新和突破式创新的影响研究[J].华东经济管理,2014(7):131-136.
- [11]毕克新,付珊娜,杨朝均.制造业产业升级与低碳技术突破性创新互动关系研究[J].中国软科学,2013(8):101-123.
- [12]YUAN Y W, CUI C L. The study of the relationship between liquidity and the SSE composite index rate of return based on time varying parameter model[J]. Chinese journal of management, 2010(5):13-23.
- [13]胡瑁,黄楠,沈洪涛.市场激励型环境规制可以推动企业技术创新吗?——基于中国碳排放权交易机制的自然实验[J].金融研究,2020(1):175-193.
- [14]梁琳,林善浪.金融结构与经济绿色低碳发展[J].经济问题探索,2018(11):183-194.
- [15]李清文,陆小成,资武成.中国典型区域低碳创新的模式构建与实践探索[J].科技管理研究,2017(2):6-8.
- [16]WINTON L K. Dominance of the southern ocean in anthropogenic carbon and heat uptake in CMIP5 models[J]. Journal of climate, 2015(2):862-886.
- [17]PLANK J, DOBLINGER S C. The firm-level innovation impact of public R&D funding: evidence from the german renewable energy sector[J]. Energy policy, 2018(11):430-438.
- [18]钟昌标,黄远浙,刘伟.新兴经济体海外研发对母公司创新影响的研究——基于渐进式创新和颠覆式创新视角[J].南开经济研究,2014(6):91-104.
- [19]ROGGE K S, SCHLEICH J. Do policy mix characteristics matter for low-carbon innovation? a survey-based exploration of renewable power generation technologies in germany[J]. Research policy, 2018(9):1639-1654.
- [20]张婧,何勇,段艳玲.渐进式创新与激进式创新:前因变量、绩效结果和交互作用[J].中国科技论坛,2014(5):5-9.
- [21]谢卫红,王田绘,成明慧,等.IT能力、二元式学习和突破式创新关系研究[J].管理学报,2014(7):38-45.
- [22]韩增林,郭媛媛,王泽宇.环渤海沿海地市低碳转型绩效评价与影响因素分析[J].人文地理,2017(3):114-122.

- [23]周朝波,覃云. 碳排放交易试点政策促进了中国低碳经济转型吗?—基于双重差分模型的实证研究[J]. 软科学, 2020(10):39-45+58.
- [24]雷玉桃,张淑雯,孙菁. 环境规制对制造业绿色转型的影响机制及实证研究[J]. 科技进步与对策, 2020(23):69-76.
- [25]王维国,刘丰. 低碳经济转型下区域技术创新与跨区技术转移研究[J]. 东南学术, 2013(2):60-67.
- [26]邓茂芝,任心原,高淮,等. 中国试点碳排放权交易市场流动性研究[J]. 华东经济管理, 2019(9):13-23.
- [27]杨晓龙. 传统能源企业可持续发展与低碳技术发展路径探析—以石油企业低碳转型为例[J]. 科技进步与对策, 2018(10):97-102.
- [28]原毅军,谢荣辉. 环境规制与工业绿色生产率增长——对“强波特假说”的再检验[J]. 中国软科学, 2016(7):144-154.
- [29]GREINER A, HANUSCH H. Cyclical innovation and production: a formal model of the firm reflecting Schumpeterian ideas, in ‘innovation in technology industries and institutions’ [M]. Houghton: The University of Michigan Press, 1994.
- [30]林小玲. 中国财政科技支出与技术创新—基于金融发展调节效应视角的研究[J]. 广西财经学院学报, 2019(4):13-23.
- [31]欧伟强. 企业主流与新流创新的系统动力学建模与仿真[J]. 科技管理研究, 2018(9):211-218.
- [32]张玉喜,段金龙. 政策性金融支持科技创新的机制与应用研究[J]. 经济纵横, 2016(4):110-113.
- [33]TAYLOR A, MACKINNON D, TEIN J. Tests of the three-path mediated effect [J]. Organizational research methods, 2007, 11(2):241-269.

(责任编辑:黄明晴;英文校对:葛秋颖)

Carbon Market Liquidity and Regional Low-carbon Economic Transition: An Analysis of Dual Mediation Effect Based on Low-carbon Technology Innovation

ZHANG Xiufan

(School of Economics and Management, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: Carbon market can stimulate innovative vitality of enterprises to carry out low-carbon technological transformation, reduce greenhouse gas emissions through market-oriented means, effectively control total carbon emissions, and stimulate low-carbon transformation of regional economy. Based on the panel data of China's 8 pilot markets in each quarter from 2013 to 2019, this paper uses the Bootstrap method under the hypothesis of mixed effects to systematically test mediating effect of carbon market liquidity through technological innovation in affecting regional low-carbon economic transformation. The research results show that: (1) The carbon market has a significant mediating effect in promoting regional economic transformation through technological innovation. (2) The carbon market can promote regional technological innovation through both breakthrough innovation and incremental innovation. Under the hypothesis of mixed effects, there is a parallel double intermediary effect of low-carbon transition in liquidity regions of carbon market. As a result, the liquidity of the carbon market can be enhanced to support technological innovation and progress, thereby promoting regional low-carbon transformation and development.

Key words: carbon market; liquidity; technological innovation; low-carbon transition; intermediary effect