

绿色低碳技术创新的区域协同路径 ——基于新熊彼特创新理论的技术供需互动机制视角

孙博文 杨霄斐*

摘要:绿色低碳技术创新的“双重外部性”属性以及区域分布上供需明显背离的特征,使得协同创新成为促进区域关键技术创新与协同实现“双碳”目标的必要途径。本文基于新熊彼特创新理论以及创新价值链循环理论视角,构建了一个包含技术供给溢出效应、技术需求牵引效应以及技术合作网络成本效应在内的区域协同创新影响因素综合分析框架。基于自主构建的2006—2020年278个地级及以上城市绿色技术合作网络数据库,对绿色低碳技术创新的区域协同研究发现,中国区域协同绿色低碳技术创新水平不断提升,合作广度不断拓展,但合作强度有待加强。从影响因素看,城市绿色创新能力和绿色技术转移都显著促进区域协同绿色低碳技术创新;高铁开通、数字经济发展具有显著的协同创新促进作用,但城市网络地位对协同创新的作用体现在局部影响力上,全局影响力不足。城市绿色创新能力与城市绿色技术转移对拓展边际与集约边际促进作用均显著,且技术合作网络成本效应的发挥以提升拓展边际为主,集约边际改善总体不足。考虑空间溢出效应后,结论总体稳健,但各类效应变量的直接效应与间接效应存在显著差异。最后,针对研究结论提出促进区域协同绿色低碳技术创新的对策建议。

关键词:碳达峰碳中和;绿色低碳技术创新;区域协同;新熊彼特创新理论

* 孙博文,中国社会科学院大学应用经济学院,中国社会科学院数量经济与技术经济研究所,中国社会科学院环境与发展研究中心,邮政编码:100732,电子邮箱:sunbowen@cass.org.cn;杨霄斐(通讯作者),中国社会科学院大学应用经济学院,邮政编码:100102,电子邮箱:yangxiaofei@ucass.edu.cn。

本文系国家自然科学基金青年项目“中国清洁生产环境规制的减污降碳协同效应、机制与路径研究”(72303239),中国社会科学院经济大数据与政策评估实验室项目(2024SYZH004),中国社会科学院2023年度智库基础研究项目“面向碳达峰碳中和的绿色低碳先进技术分类识别、国际比较与支持政策研究”(23ZKJC074)以及中国社会科学院重大课题“抢抓时代机遇与增强我国发展主动权研究”(特重立000001)等项目资助的阶段性成果。感谢匿名审稿专家的宝贵建议。文责自负。

一、引言

绿色低碳技术创新是实现“双碳”目标的重要动力支撑。习近平总书记在党的二十大报告中指出,实现碳达峰碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革。加快绿色低碳技术创新,推动实现绿色低碳科技自立自强,不仅是全球新一轮产业革命和科技变革的重要内容,更是我国应对气候变化、推动高质量发展、实现美丽中国建设目标的重要支撑。在此背景下,加快实现构建包括降碳、零碳和负碳技术在内的绿色低碳技术体系,推动新能源利用、节能、储能、智能电网等领域绿色低碳技术创新取得新突破,是通过促进可再生能源利用降低绿色溢价水平,实现“双碳”目标的根本途径(中金研究院、中金公司研究部,2021)。甚至可以说,没有绿色低碳技术创新的重要突破,“双碳”目标也难以实现(丁仲礼、张涛,2022)。作为碳达峰碳中和“1+N”政策体系的重要组成部分,2022年科技部等九部门联合印发了《科技支撑碳达峰碳中和实施方案(2022—2030年)》,围绕加快推进绿色低碳技术创新,从基础研究、技术研发、应用示范、成果推广、人才培养、国际合作等多个方面出台了一系列行动方案。随着“双碳”战略的持续推进,我国绿色低碳技术创新取得了重大发展,但也面临一些问题。国家知识产权局统计数据显示^①,中国已经成为全球绿色低碳技术创新的重要贡献者,2016—2022年,全球绿色低碳技术发明专利授权量累计达55.8万件,其中,中国专利权人获得授权17.8万件,占比达到31.9%,年均增速达到12.5%,明显高于全球2.5%的整体水平,从创新主体看,共有13家企业或单位进入全球绿色低碳技术发明专利授权量排名前50名。但《“十四五”能源领域科技创新规划》对我国能源科技发展形势总结中指出,虽然我国在光伏新能源、风电、主流储能技术、特高压技术、核能主要技术等领域已经初具全球性引领优势,但与世界能源科技强国和引领能源革命的要求相比还存在明显差距,绿色低碳技术发展难以有效支撑能源绿色低碳转型。

绿色低碳技术创新的“双重外部性”特征以及巨大的空间分布差异,使得区域协同创新成为促进关键技术突破与协同实现“双碳”目标的必要途径。一方面,绿色低碳技术创新兼具传统技术创新的知识外部性与环境外部性属性(Rennings,2000),受制于此,绿色低碳技术创新的要素投入不足,加之其面临的研发风险高、创新周期长等问题,绿色低碳技术的创新激励受到限制。区域协同创新通过对各创新主体的资源整合,促进创新资源共享和知识交流,并有效地避免了重复投资,减少个体参与创新的成本,此外,多元的创新主体有助于分散创新风险,提高绿色低碳技术的创新激励。加快构建中国绿色创新合作网络,推动区域协同绿色创

^① 数据来源:国家知识产权局《全球绿色低碳技术专利统计分析报告(2023)》, https://www.cnipa.gov.cn/module/download/down.jsp?i_ID=185467&colID=88。

新体制机制完善,具有重要绿色创新促进作用(王婧、杜广杰,2021)。而且大量的实践案例表明,通过加强地区之间“产学研金介用”等创新主体协同合作,不仅是解决研发主体所面临的资金、技术、信息、知识以及人才共享问题的重要途径,还可能会通过跨区域研发合作、成立创新联盟、搭建创新研发平台以及推动绿色低碳技术转移等方式,推动绿色低碳关键技术取得突破。另一方面,中国的绿色技术在区域分布上呈现明显的供需背离特征,只有通过加强区域协同来满足技术需求。从中国国家知识产权局专利数据库中的绿色低碳技术专利数据来看,中国各地区的绿色低碳技术水平都在不断上升,但呈现明显的东中西部地区逐次递减特征,同时绿色低碳技术水平较高的城市都是经济发达且行政级别较高的大城市(孙博文、张友国,2022)。但是,绿色低碳技术水平相对较低的中西部地区和数量众多的中小城市,却是最迫切需要通过先进绿色低碳技术提升碳排放效率的地区,这些地区的绿色低碳技术则难以满足其需求,区域协同创新模式成为破解绿色低碳技术研发约束、提升创新研发效率、实现绿色低碳技术创新突破的重要创新形式。而且,通过协同创新也能够有效促进绿色技术从丰裕地区向贫乏地区转移,进而满足不同地区的绿色技术需要。

鉴于以上讨论,随着我国“双碳”战略不断向纵深推进,加快绿色低碳科技革命,构建区域协同绿色低碳技术创新发展路径,不仅是绿色低碳技术创新取得突破的关键,还将为不同地区协同实现“双碳”目标提供有力支撑。为此,本文基于新熊彼特创新理论与创新价值链理论,深入分析了区域协同绿色低碳技术创新的影响机理,并在实证验证其影响因素的基础上,对制约问题进行剖析,为构建区域协同绿色低碳技术创新路径提供有益启示。

二、文献综述与理论机制

(一)文献综述

1. 绿色低碳技术创新内涵界定与相关研究

对于绿色低碳技术创新的概念以及标准界定,学术界及政策领域的认识并不统一,可以说只要具备了创新的新颖性、价值性特征,且能实现资源节约和环境友好,就可以归为绿色低碳技术创新。并且,绿色低碳技术创新也常被称为“可持续创新”“生态创新”或“环境创新”等,通常与“可持续发展”“环境问题”和“外部性”相关联。虽如此,一个基本的共识在于,绿色低碳技术是减少环境污染、促进节能降耗以及实现循环经济发展的技术(李翠锦等,2004; Barbieri et al.,2020; 丁仲礼、张涛,2022),绿色低碳技术创新是通过环境科学新知识与绿色技术在生产经营中的运用,创造和实现新的经济效益与环境价值的活动。2019年国家发展改革委、科技部联合印发的《关于构建市场导向的绿色技术创新体系的指导意见》给出了一个比较符合中国绿色发展实际的定义,即绿色技术是降低消耗、减少污染、改善生态,促进生态文明建设、实现人与自然和谐共生的新兴技术,包括节能环保、清洁生产、清洁能源、生态保护与修

复、城乡绿色基础设施、生态农业等领域,涵盖产品设计、生产、消费、回收利用等环节的技术。

关于绿色低碳技术创新测度、影响因素和特征分析涌现了大量的研究。除采用绿色专利量、发明专利和实用新型专利授权数之和等指标(裴潇等,2019)对绿色技术创新水平进行表征外,还有学者通过构建指标体系对绿色低碳创新水平(史安娜、唐琴娜,2019;李旭辉、陶贻涛,2023)或效率(黄万华、王梦迪,2021)进行了测度。就影响因素方面,刘立等(2009)认为低碳技术创新离不开一定的社会环境,社会物质基础、制度、社会文化等都对低碳技术创新造成约束。此外,学术界也从企业成本粘性(许汉友、高一璇,2023)、融资约束(梁运吉、刘冰冰,2022)、绿色信贷政策(李强、陈山漫,2023)、减税激励(梁运吉等,2023)、环境规制(张倩,2015)等宏微观层面对绿色技术创新的影响因素进行研究。绿色技术创新具有外部经济的特征,非绿色技术应用会导致生态环境恶化,绿色技术的应用则会维护或改善生态系统,增加环境资源,但绿色技术因其创新成本高而在市场竞争中处于劣势(俞国平,2002),此外,绿色技术创新追求生态效益最大化与产业活动追求经济利益最大化的矛盾等也可能制约了企业自发进行绿色技术创新(李平,2005)。

2. 区域协同创新内涵及影响因素研究

区域协同绿色低碳技术创新这一概念包含了“协同创新”“区域协同创新”“绿色低碳技术创新”等多维度概念。已有的研究对这一概念的涉及比较少,而是针对各自具体概念及影响因素进行了深入讨论。

一是概念内涵上,协同创新是一个组织的不同部分或多个组织的自我激励的个体所组成的网络小组,在共同愿景的驱动下实现共同目标的过程(Gloor et al., 2003),其本质是创新生态系统通过成员的密切合作与创新要素的协同作用,实现技术或产品从创新产生到技术扩散的过程(刘丹、闫长乐,2013)。具体内涵上,协同创新是以知识增值为核心,企业、政府、知识生产机构、中介机构和用户等为实现重大科技创新而开展的大跨度整合的创新组织模式,产学研合作是其主要形式(陈劲、阳银娟,2012)。区域协同创新涉及地域间的互动,是指各创新主体之间通过创新资源协作形成区域范围内的综合创新,也是区域分工和合作的重要发展趋势。区域协同创新体现了协同创新主体(企业、高校、研究机构)的空间合作组织形式与创新机制,根本上表现为创新主体联合研发或产学研一体化,而区域协同绿色低碳技术创新则可理解为不同创新主体开展绿色创新研发与合作的空间组织形式(孙博文,2024)。

二是影响因素上,区域协同创新实质上是区域的各创新主体间的协同创新,影响因素既包括各创新主体参与协同创新的因素,也包括影响地区间创新要素联结的因素。一方面,学术界关于企业是否参与协同创新有两种经典理论。交易成本理论认为联合研发的缺点是由交易成本造成的(Williamson, 1979),是否使用外部资源替代内部研发取决于内部研发成本和外部调整资源的成本,只有当联合研发的成本效益权衡是积极的,企业才会选择联合研发

(Becker & Dietz, 2004)。而资源理论则认为任何企业的目标都是通过使用和提高其资源和能力来实现利润最大化(Tsang, 2000),且在企业创新模式逐渐从内部研发转变为企业合作、协作和外部采购的开放创新的背景下(Laursen & Salter, 2010),创新的内部和外部来源互为补充品,而非替代品(Faria et al., 2010)。基于上述讨论,影响协同创新绩效的因素可分为内部因素和外部环境两类。内部因素包括企业吸收能力、融资约束、创新能力、信任程度等。叶伟巍等(2014)认为企业吸收能力是提高协同创新的关键;周开国等(2017)研究发现融资约束越宽松、创新能力越弱时协同创新意愿越强。此外,社会网络的建立会增加网络节点间的信任程度(刘雯等, 2020),而信任又是达成产学研深度合作的重要因素(何郁冰, 2012)。外部环境因素包括激励政策、数字化水平、知识产权保护、外商直接投资、环境规制水平等。叶伟巍等(2014)认为激励政策能促进企业吸收能力和高校知识转移能力提升,进而发挥对产学研协同创新的积极作用。袁胜超(2023)认为数字化发展对促进地区产学研协同创新水平的提高具有长期效应,且受到知识产权保护的门槛调节效应,适度知识产权保护能增强数字化的促进效果。Letchumanan和Kodama(2000)指出外商投资具有技术溢出效应,可以推动东道国的技术进步,但也有不一致结论,易明等(2013)研究发现尽管外商直接投资带来了先进技术,但可能由于“挤出”效应、技术内部转移限制知识溢出、人才流失等原因,外资进入反而不利于区域创新水平的提高。肖振红和李炎(2023)通过案例仿真分析发现,环境规制强度增加强化了产学研协同创新激励。

另一方面,地区间创新要素联结的影响因素包括区域协同政策、产业结构相似性、创新要素流动、地理距离等多个方面。区域协同政策打破区域间的行政壁垒(王郁、赵一航, 2020),进而促进创新要素资源流动。刘承良等(2018)发现产业邻近性有利于城际技术转移,也折射出对技术发展的需求。但也有研究认为产业结构相似的省份间技术流动不足,过于相似的产业结构限制了技术流动(任龙等, 2016)。高丽娜等(2014)认为创新要素流动是推动区域协同创新的根本力量,创新成果的市场交易与知识流动也发挥重要作用。赵增耀等(2015)研究发现创新活动具有地理空间效应,但创新溢出和传播受创新主体间地理距离的限制。孙博文(2024)重点从技术需求(技术转移)的视角探讨了城市协同创新的影响机制,但对协同创新成本因素的有关机制未展开深入讨论。

总结可知,已有大量研究探讨了区域协同创新影响因素,但鲜有文献将技术供给、技术需求和协同创新成本三者纳入统一分析框架开展相关因素的综合实证研究,遑论绿色低碳技术的区域协同创新路径分析。本文的边际贡献可能在于:一是研究数据上,利用数据爬虫技术和人工检索等方式,在获得的全国主要城市近千万条绿色专利数据基础上,识别了高校、科研机构以及企业的绿色专利合作以及绿色技术转移微观大数据,刻画了中国2006—2020年278个地级及以上城市绿色技术研发合作网络和绿色技术转移网络,为实证提供关键指标支撑;

二是理论上,基于新熊彼特创新理论与创新价值链理论,从技术供给溢出、技术需求牵引以及技术合作网络成本三个维度构造了一个区域协同创新影响因素理论框架,为实证检验区域协同绿色低碳技术创新的影响因素提供新的视野;三是作用渠道上,首次基于区域合作的拓展边际、集约边际二元视角,对区域协同绿色低碳技术创新进行分解以及作用渠道进行检验;四是研究方法上,基于文本分析法,搜集全国各省产学研政策文件,构造了区域产学研政策协同指标,揭示了区域政策协同对于区域协同创新的影响作用,还基于空间计量模型,考察了区域协同绿色低碳技术创新的空间溢出效应。

(二)基于新熊彼特创新理论视角的区域协同绿色低碳技术创新影响机制

1. 区域协同创新与区域创新价值链循环的内在逻辑辨析

基于新熊彼特创新理论(Rosenberg, 2010)与创新价值链理论(Hansen & Birkinshaw, 2007)的内涵和外延,本研究将区域协同创新定义为区域创新价值链循环的过程。经典熊彼特理论强调技术供给因素以及创新的企业内部来源,认为创新源于企业内部研发活动和技术改进,新技术或产品的出现会创造出消费者未曾意识到的需求。新熊彼特学派将技术供给-需求互动机制纳入创新影响机制分析框架(Freeman et al., 1982; Rosenberg, 2010),认为技术供给并非孤立存在,而是与市场需求紧密相连、相互影响,强调技术供给与需求之间的双向互动关系,即技术创新不仅仅是企业内部的独立行为,而是涉及到企业、研究机构、政府、教育机构等多个主体之间的合作与互动。对这一理论的发展和应用形成了 Hansen 和 Birkinshaw (2007)所提出的创新价值链理论,并将创新价值链分为创意的产生、创意的转换和创意的传播三个环节,并且各环节互相影响。余泳泽和刘大勇(2013)结合中国技术创新的实践,将创新过程分为知识创新、科研创新和产品创新,分别对应研发投入中的基础研究、应用研究与试验发展,并提出在创新价值链视角下,创新外溢不仅表现为创新的空间外溢,也表现为创新的价值链外溢。基于上述理论可知,区域协同创新可定义为以城市为空间载体的城市之间创新价值链循环关系或技术创新供给-需求的循环互动关系(孙博文, 2024)。这是因为,创新价值链可分为“创新产生”和“创新转化”两个阶段,前一阶段反映了创新主体(高校、科研机构和企业)的技术供给,处于创新价值链的上游环节,后一阶段反映了技术需求和应用,处于绿色技术创新价值链的下游环节,企业作为技术需求和创新转化的主体,将利用绿色技术促进资源节约、污染处置、节能减排以及生产绿色产品。因此,区域协同创新本质为城市之间“创新链”功能协同,表现为城市之间“创新主体”协同和创新要素的集聚和扩散,实质上体现了不同城市之间的创新价值链的循环特征(见图1)。

除了技术供需互动机制外,创新主体决定是否参与地区间的合作时,还需要权衡合作所带来的潜在成本和收益(Blanc & Sierra, 1999; Sun, 2016)。地区间临近性的不充分可能导致知识差距、缺乏信任、协调困难、制度僵化等问题(Boschma, 2005),增加潜在合作成本,这使得

区域协同创新行为受制于协同创新合作成本的大小,所以,区域协同创新动力不仅取决于不同地区的技术供给能力和技术需求水平,还与地区之间协同创新成本有关,不少研究对技术供需互动机制进行讨论(孙博文,2024),但未能将技术供给、技术需求以及协同创新成本纳入到一个统一分析框架进行研究。鉴于此,本文基于新熊彼特创新理论下的技术供需互动机制,构建绿色低碳技术创新的区域协同影响因素理论分析框架(见图1),并基于此开展相关实证研究。

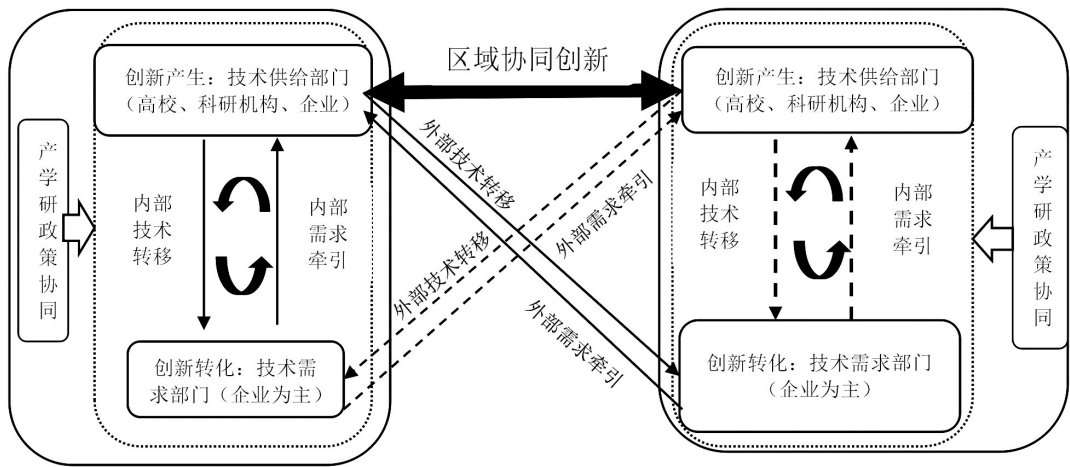


图1 区域协同创新理论逻辑

2. 区域协同绿色低碳技术创新影响因素

据上述分析,基于新熊彼特创新理论及创新价值链循环理论,立足技术供给、需求以及供需适配三维视角,分别从技术供给溢出效应、技术需求牵引效应以及技术合作网络成本效应三个维度,构建区域协同绿色低碳技术创新影响因素分析框架,并辅之以其他经济社会发展及政策出台等外部影响因素的讨论。

(1)技术供给溢出效应。技术供给溢出效应的发挥主要依赖于城市技术创新基础能力。绿色低碳新技术和新产品的出现或将开发未知的需求,在此背景下城市绿色技术创新基础水平对于其是否参与区域协同创新有重要影响,但也可能存在不一致性的预期结论:对于基础创新能力较强的地区而言,其在创新要素流动及技术创新溢出效应的作用下,可能通过独立研发满足自身需求。而一些基础创新能力较弱的地区难以通过独立研发满足技术需求,因此会通过寻求与更高创新水平城市的合作,通过联合研发或者技术转入的方式获得所需技术。

(2)技术需求牵引效应。技术需求牵引效应主要体现为城市之间绿色技术转移。绿色技术转移通过发挥技术需求牵引效应影响城市协同创新。外源技术转移是满足企业技术需求的重要途径(Becker & Dietz,2004),侧面反映了技术市场需求与市场交易水平,技术转移通过发挥市场“无形之手”作用,能够推进创新要素有机联结以及促进产学研协同创新,有助于优

化创新资源配置以及提高协同创新绩效。研究发现,在区域产学研一体化合作中,由企业参与的“产-学”或者“产-研”合作模式相较于“学-研”模式,具有更好的创新激励效果(赵晶等,2022),这是因为,企业的技术应用与产品创新是以市场需求为导向的,将通过需求牵引效应促进不同机构协同创新。

(3)技术合作网络成本效应。技术合作网络成本效应主要体现为直接影响不同地区合作网络构建或者交易成本。一是区域联合研发与技术转移的网络节点地位。不论是已有的技术研发合作网络,还是技术转移合作网络,都表现出一定的网络通道效应(Siegel et al.,2003),这一效应有助于降低协同创新合作的交易成本以及提高不同城市创新主体的合作概率。二是区域技术交易市场发育水平。技术交易市场通过价格信号引导技术供需匹配,健全的区域性技术交易市场意味着更低的制度性技术交易成本,从而有助于促进不同地区之间的绿色低碳技术创新深度合作。三是交通运输成本。根据新经济地理学理论,交通基础设施的不断完善以及交通网络密度的不断提升,极大地压缩了要素流动的时空成本(Hanley et al.,2022),促进了创新要素的流动以及不同地区之间的绿色低碳技术创新合作。而且,以高铁为代表的交通基础设施改善,将极大地促进创新要素流动、推动技术创新(黄和平、谢云飞,2022)以及产业集群的形成,提高了更大地理范围内的协同创新合作的可能性。四是数字经济发展。新一轮技术革命与产业变革方兴未艾,数字经济时代,数字技术应用通过降低信息传输的成本以及提高信息传递的精准性,进而增强城市之间创新合作。并且,通过大数据分析等技术,城市能够更好地了解自身创新资源优势和不足,促进创新要素自由流动以及实现更有效资源配置(李宗显、杨千帆,2021)。依托数字技术搭建网络协同创新平台(如数字创新中心、数字化产业平台等),有助于降低企业的合作研发机会成本,提升协同创新水平。数字经济的发展还通过打破技术研发者与需求者之间的信息壁垒,形成以市场为导向的产品研发机制,有助于降低创新风险(郭丰、任毅,2023),对企业的创新活动产生激励,并促进产学研合作,从而推动绿色低碳技术协同创新水平的提升。

(4)其他经济社会发展与政策因素。一方面是经济社会发展因素。经济社会发展包括城市经济总量、产业结构、金融发展与对外开放等因素。一是城市经济发展水平,经济发达的城市与其他城市互动交流更为密切,具有更好的合作基础。二是城市产业结构,交通运输服务业、行政监管设计业、生产性服务业等是绿色技术创新的重要来源,城市服务业比重较高可能意味着更强的绿色创新水平。除此之外,不同地区产业结构的相似水平也是影响地区之间产业合作的关键因素(孙大明、原毅军,2019)。三是城市金融发展水平,城市金融发展有助于缓解绿色创新研发的融资约束,提升地区创新能力以及促进研发合作。四是城市外商直接投资,城市可利用外商直接投资,促进获得先进知识、技术和管理经验,并通过技术供给溢出效应促进城市协同创新。另一方面是政策因素。鉴于区域协同绿色低碳技术创新的“区域协

同”及“绿色低碳技术创新”两个核心内涵,其影响因素可以从“区域协同政策”“环境规制政策”以及“创新支持政策”三类进行讨论。一是区域协同政策。政策协同是指不同政府及政府部门通过沟通对话使公共政策相互兼容、协调、支持以解决复杂性问题和实现共同目标的方式(Meijers & Stead, 2004)。政府需要提高针对协同创新的政策一致的导向性,才能有利于高校、科研机构、企业、政府四者之间的行动最优同步化(陈劲、阳银娟, 2012)。城市协同创新涉及到创新主体的知识、资源、行为及绩效的全面整合,加强政策协同、提高政府出台的相关政策与创新活动的匹配性,是提高协同创新绩效的重要影响因素。二是环境规制政策。环境规制通过发挥绿色创新“波特效应”提高地区企业绿色创新供给能力(Porter & Van der Linde, 1995),不同地区环境规制强度差异,使得环境规制政策存在非对称的“波特效应”(Greenstone et al., 2012),进而造成了地区之间绿色技术创新的供给能力差异,成为不同地区绿色创新合作的重要驱动因素。三是创新支持政策。主要是指为提高地区创新能力而出台的知识产权保护、创新补贴、税收优惠、研发加计扣税以及创新试点政策等,将为微观主体技术创新提供激励性的制度安排(陈强远等, 2020),并进而通过提升地区创新能力以及发挥技术溢出效应促进地区研发合作。

三、区域协同绿色低碳技术创新水平特征事实分析

(一) 指标说明与数据来源

选择合适的区域协同绿色低碳技术创新衡量指标是进一步探讨其影响因素的关键。有别于地区自主创新能力评价指标,区域协同创新指标反映的是不同地区之间的绿色专利研发合作网络及地区节点特征。本文基于自主构建的城市绿色技术合作网络数据库,以城市绿色低碳技术发明专利联合申请/授权数(简称“绿色专利联合申请/授权数”)指标作为区域协同绿色低碳技术创新的核心代理变量进行分析讨论。在此基础上,还基于绿色发明专利合作城市数量(拓展边际)、平均城市合作授权数量(集约边际)、度数中心度和介数中心度等指标对区域协同创新水平进行刻画和分析,以系统反映城市绿色专利合作网络、城市合作广度与专利合作强度、城市网络节点特征等。

数据来源及处理说明如下:就绿色低碳技术的标准界定和识别而言,本研究根据世界知识产权组织(WIPO)发布的《绿色专利清单》,将清单中的替代能源生产、运输、能源节约、碳捕获和储存、核能发电、废料再利用,以及与气候缓解相关的行政、监管和设计方面这七类归为绿色低碳技术发明专利类型。选择发明专利而非实用新型、外观设计的原因是,发明专利数据更好地体现了企业创新质量而非创新数量。数据处理上,首先依托国家知识产权局(SIPO)专利数据库和Patsnap智慧芽专利检索平台,通过机构合作以及利用数据爬虫技术和人工检索等方式,获得全国2006—2020年近860万条基础专利数据,进一步结合专利基础数据库、绿

色专利分类清单及专利IPC分类号,对绿色低碳技术专利进行了识别,并结合专利条目分类信息、地理信息、申请主体、专利权转让信息等,对278个地级及以上城市的绿色低碳技术专利申请数、授权数进行汇总。进一步对绿色低碳技术专利合作信息进行识别,在城市层面加总获得城市联合研发申请数、城市联合授权数、发明专利合作城市数量(拓展边际)、平均城市合作授权数量(集约边际)、度数中心度和介数中心度等指标。为确保专利数据的准确可靠性,研究根据中国历年科技统计年鉴、中国历年火炬统计年鉴、中国研究数据服务平台(CNRDS)等数据库进行交叉验证。

(二)区域协同绿色低碳技术创新特征

分析2006年和2020年城市之间绿色低碳技术专利合作情况发现:城市间绿色发明专利联合申请数量快速增加,而且参与绿色发明专利合作的城市数量也不断增加。一方面,全国各城市绿色发明专利合作申请数量呈现出不同程度的增长,城市绿色科技创新领域合作意识不断提升,研发合作网络构建不断完善。一是从全国层面看,绿色专利联合研发申请数一直保持高水平的增长速度,由2006年的566件增长至2020年的46108件。二是具体城市方面来看,在合作研发基础较好的城市中,北京、上海、南京、广州、杭州、天津、武汉、深圳等城市年均增速均在20%以上,并且大多城市的绿色专利联合研发申请数或授权数与绿色专利联合研发申请或授权总量变动一致,总体呈现上升趋势。另一方面,城市绿色发明合作存在显著地区差异。以绿色专利联合研发授权数为例,一直以来,北京的绿色专利联合研发授权数居于首位,其均值高达1839件;南京、上海、杭州、武汉、广州、抚顺、深圳、济南、天津、西安、成都等城市在2006—2020年间均值在100以上,但也有鄂尔多斯、廊坊、绵阳等208个城市均值仅为个位数水平。

(三)区域协同绿色低碳技术创新分解特征

考虑到本文将城市绿色专利合作授权总数定义为城市协同创新水平,这一指标实际上包含了“与多少城市合作”以及“平均城市的合作强度”两个维度内容,因此将城市协同创新拓展边际(Extensive Margin)定义为与本城市绿色专利合作研发的城市数量,反映了绿色专利合作研发的广度;将集约边际(Intensive Margin)定义为与本城市绿色专利合作研发的平均数量,反映了绿色专利合作研发的深度。一方面,绿色低碳技术创新合作广度不断拓展,绿色低碳技术创新合作网络不断形成,部分节点城市成为重要合作网络中枢。对2006—2020年各城市绿色低碳技术发明专利授权合作城市的数量变动进行分析发现,大多数城市在2006年还未建立起合作关系,而在2020年合作城市数量普遍增加。北京、南京、武汉、广州、上海等城市合作数量增长显著,新增合作城市数达50个以上。合肥、郑州、福州、石家庄、太原、常州等城市在2006—2020年间从无到有建立起城市绿色低碳技术创新合作。但也有一些城市,如黑河、来宾、七台河、伊春、昭通、玉林、张掖等,一直以来合作城市基数很小,合作潜力仍有待发掘。总体而言,城市间合作关系的发展并不仅限于发达地区,而是全国性的发展趋势,城市间

的合作关系得到普遍的发展,但仍需挖掘各地的合作潜力,夯实合作基础。另一方面,城市间平均合作水平总体偏低,合作强度有待进一步加强。对2006—2020年各城市之间绿色低碳技术发明专利授权合作强度变动特征进行分析发现,在2006年已经建立起绿色低碳技术创新合作的68个城市中,平均合作强度为2件;2020年有239个城市建立起合作关系,但平均合作强度仅为3件,合作强度总体水平偏低。

(四)区域协同绿色低碳技术创新长效机制特征

以北京市为例,根据其2006—2020年专利申请合作城市数量变动和具体合作城市清单,识别了延续上一年合作的城市清单、新增合作城市清单、退出合作城市清单等,并基于此,计算了当年合作城市数量 C_n 和上一年合作城市数量 C_{n-1} ,延续上一年合作的城市数量 X_n ,当年新增合作城市数量 Z_n 和退出合作城市数量 T_n 等指标。基于此构造几个相关指标进行分析,其中,当年合作城市数量 C_n 反映了城市创新合作拓展边际特征,体现了加入绿色低碳技术创新合作网络的城市数量。延续上一年合作的城市数量 X_n 和当年合作城市数量 C_n 的比值 X_n/C_n ,反映了合作关系的更新迭代和持续性。当年新增合作城市数量 Z_n 和当年合作城市数量 C_n 的比值 Z_n/C_{n-1} ,反映了新增合作伙伴情况。当年退出合作城市数量 T_n 和上一年合作城市数量 C_{n-1} 的比值 T_n/C_{n-1} ,反映了退出合作伙伴情况。

表1反映了北京市绿色低碳技术创新合作城市动态情况。一是从合作城市数量(C_n)看,2006—2020年与北京合作城市从32个增至257个,全国绝大多数地级及以上城市都与北京建立了绿色低碳技术创新合作关系。这既体现了城市间交流合作需求的增加,也与北京市绿色创新溢出效应的发挥密切相关,吸引了越来越多的城市参与研发合作。二是从延续上一年合作城市占比(X_n/C_n)看,这一指标呈现出上升的趋势,从2007年的8个增至2020年的106个,占比从25.0%上升至41.2%,超过4成有连续合作行为,表明北京与其他城市合作关系有所巩固和加深,长效合作机制在不断完善。三是从新增合作城市数量占比(Z_n/C_n)看,新增合作城市快速增加,从2007年的32个增至2021年的151个,增幅接近4倍,新增合作城市数量占比从80.0%下降至58.8%。这表明绿色低碳技术创新合作网络在不断发展壮大,而且已经有了较好的合作基础,但随着时间的推移,新合作伙伴的选择空间越来越小,新合作城市占比开始下降,也可能是因为合作伙伴之间的竞争加剧,吸引新的城市参与的难度也在逐渐增加。虽如此,2020年依然新增151个合作城市,合作网络构建速度还处于高位。四是从当年退出合作城市数量占比(T_n/C_{n-1})看,退出合作城市数量呈现逐年下降趋势,占比从2007年的75.0%下降至2020年的57.5%。这从城市退出的角度反映了合作关系变化情况,可能是因为城市的需求和发展方向不断变化,需要不断寻找适合自己的合作伙伴,实现合作关系的更新换代。但是随着时间的推移,退出合作城市数量开始下降,说明合作关系的稳定性逐渐提高。五是大量的核心节点城市还未建立稳固的合作关系。分析发现,大量的核心节点城市、区域中心城

市与北京缺乏长期的合作关系,比如,2007年广州、深圳、苏州等城市退出了与北京的合作,2019年石家庄、南昌、重庆、广州、苏州、厦门等主要城市也退出了合作,核心节点城市长效合作机制还有待完善。

表1 区域长效合作特征(北京市为例)

年份	合作城市数量(C _n)	延续上一年合作城市数量(X _n)	占比(X _n /C _n)	新增合作城市数量(Z _n)	占比(Z _n /C _n)	退出合作城市数量(T _n)	占比(T _n /C _{n-1})
2006	32	——	——	——	——	——	——
2007	40	8	20.0%	32	80.0%	24	75.0%
2008	59	12	20.3%	47	79.7%	28	70.0%
2009	69	23	33.3%	46	66.7%	36	61.0%
2010	96	20	20.8%	76	79.2%	49	71.0%
2011	95	38	40.0%	57	60.0%	58	60.4%
2012	162	36	22.2%	126	77.8%	59	62.1%
2013	205	73	35.6%	132	64.4%	89	54.9%
2014	226	82	36.3%	144	63.7%	123	60.0%
2015	227	103	45.4%	124	54.6%	123	54.4%
2016	241	97	40.2%	144	59.8%	130	57.3%
2017	245	99	40.4%	146	59.6%	142	58.9%
2018	236	108	45.8%	128	54.2%	137	55.9%
2019	240	97	40.4%	140	58.3%	139	57.9%
2020	257	106	41.2%	151	58.8%	138	57.5%

四、区域协同绿色低碳技术创新影响因素实证分析

(一)计量模型设定与变量说明

基于区域协同绿色低碳技术创新影响机制分析框架,构建面板回归计量模型如下:

$$\ln rsi_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 TS_{it-1} + \alpha_2 TT_{it-1} + \alpha_3 TC_{it-1} + \lambda X_{it-1} + a_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中,被解释变量为 $\ln rsi_{it}$, 代表城市 i 在年份 t 的区域协同绿色低碳技术水平,采用本城市与其他城市绿色低碳技术发明专利合作授权总数取对数表示,指标的构建来自于搜集整理的全国城市绿色技术合作研发网络数据。核心解释变量分为三类:第一类为技术供给溢出效应变量 TS , 第二类为技术需求牵引效应变量 TT , 第三类为技术合作网络成本效应变量 TC , 本研究关注的重点变量系数是 α_1 , α_2 和 α_3 , 其分别反映了三类核心解释变量的作用大小及显著性。 X 代表其他控制变量。为缓解变量的潜在内生问题,对连续变量均进行滞后一期处

理, α_i 和 ν_t 分别表示城市与年份固定效应, ε_{it} 为残差扰动项^①。

1. 主要变量

(1)技术供给溢出效应变量 TS 。采用城市绿色创新能力 $\ln gpatent$ 衡量,基于城市绿色发明专利授权数取对数计算。

(2)技术需求牵引效应变量 TT 。采用城市绿色技术转移 $\ln gtr$ 衡量,基于城市绿色发明专利权转让数量取对数表示,指标的构建来自于搜集整理的全国城市专利权转让网络数据。

(3)技术网络合作成本效应变量 TC 。一是绿色技术创新网络特征。包括:①度数中心度(DC),标准化计算公式为 $DC_{it} = \frac{k_{it}}{N-1}$, k_{it} 表示在 t 年与节点城市 i 存在直接合作关系的城市总数, N 代表节点城市数。反映节点城市参与协同创新的活跃程度和局部影响力。②

介数中心度(BC),标准化计算公式为 $BC_i = \frac{\delta_{sj}(i)}{\frac{\delta_{sj}(N-1)(N-2)}{2}}$,其中 δ_{sj} 代表 s 到 j 之间的最优

路径条数, $\delta_{sj}(i)$ 表示最优路径条数中过 i 的条数,最优路径即城市之间合作的最短距离路径,衡量节点城市在网络中的桥梁作用和全局控制力。③出度中心度(dc_out_{mt}),标准化计算公式为 $dc_out_{mt} = \frac{k_{mt}}{N-1}$, k_{mt} 表示在 t 年接受节点城市 m 技术转出的城市数量。衡量节点城市

在绿色技术转出网络的活跃程度,反映城市技术转出局部影响力。④入度中心度(dc_in_{nt}),标准化计算公式为 $dc_in_{nt} = \frac{k_{nt}}{N-1}$, k_{nt} 表示在 t 年对节点城市 n 进行技术转出的城市数量,衡量节点城市在绿色技术转入网络的重要程度,反映城市技术转入局部影响力。⑤中介中心度

(bc),考虑到技术转移的有向性,其标准化计算公式为 $bc_i = \frac{\delta_{sj}(i)}{\delta_{sj}(N-1)(N-2)}$,反映节点城市技

术转移的全局影响力。二是省级技术市场交易水平($\ln tech$),采用省级层面技术市场交易额取对数表示。三是高铁开通(HSR),反映了区域之间交通运输成本情况,若当年城市有新高铁开通定义为1,否则为0。四是数字经济($dige$),借鉴赵涛等(2020)的研究,鉴于数据的可得性,本文从互联网发展层面对数字经济水平展开测度。采用互联网普及率、相关从业人员情况、相关产出情况和移动电话普及率四个方面的指标,通过主成分分析方法(PCA)将上述指标标准化后降维处理,得到数字经济综合发展指数。

2. 其他影响因素控制变量

一方面,经济社会发展因素包括:城市经济发展水平($\ln pgdp$),采用城市人均GDP取对

^①需要指出,尽管本文从技术供给溢出、技术需求牵引、技术网络合作成本以及其他经济社会发展与政策因素等多个维度探讨了区域协同绿色低碳技术创新的影响因素,但仍可能存在潜在的遗漏变量问题对模型因果识别造成干扰。

数表示;城市产业结构(*ins*),采用第三产业产值占GDP比重表示;城市金融发展水平(*fin*),采用年末存贷款余额与GDP比值表示;城市外商直接投资(*lnfdi*),采用外商直接投资总额取对数表示。另一方面,政策因素有以下几个方面:

(1)区域协同政策因素。借鉴赵晶等(2022)、孙静等(2019)对于联合颁布政策的计算方式,利用文本分析法搜集了各省份出台的有关产学研政策的文本,构造了省级层面而非城市维度的产学研政策协同指标,考虑到不同省份部门联合制定产学研合作支持政策的情况比较罕见,通过构造区域(省级)产学研政策协同指标(简称“区域政策协同”),探讨其对城市协同创新的影响。进一步,区域政策协同可分为主体协同和工具协同两方面,计算公式如下:①区域政策主体协同(*zts*)。 $zts_{jt} = \sum_{n=1}^N PZ_n / N$,其中*j*和*t*表示省份及年份,*N*表示*j*省份当年颁布的政策数目,*n*表示第*n*条政策,*PZ_n*表示第*n*条政策的主体协同度,采用政策发布主体数量表示。通过将*j*省在*t*年颁布的各类政策的主体协同度取均值,则可计算得到省份*j*在年度*t*的政策主体协同度(*zts*)。②政策工具协同度(*gjs*)。根据Rothwell和Zegveld(1985)的研究,可将创新政策分为供给类政策、需求类政策及环境类政策三种。政策工具协同度计算公式为 $gjs_{jt} = \sum_{n=1}^N PG_n / N$,其中,*PG_n*表示第*n*条政策的协同度,在供给类、需求类及环境类政策中,若仅存在一类,则定义为1,若三类均存在,则定义为3。通过将*j*省在*t*年颁布的各类政策的工具协同度取均值,可得到省份*j*在年度*t*的政策工具协同度(*gjs*)。③区域政策协同(*rps*)指标可定义为政策主体协同(*zts*)与政策工具协同(*gjs*)的乘积,即 $rps = zts \times gjs$ 。

(2)环境规制政策。①城市环境规制(*er*),参考沈坤荣等(2017)和徐保昌等(2020)等的研究,以工业SO₂去除率、工业COD去除率、工业固体废物综合利用率、生活污水处理率和生活垃圾无害化处理率五个指标作为基础数据计算城市环境规制强度水平。首先采用时空极差熵权法对指标进行标准化处理及权重赋值,然后对各指标得分加权平均处理得到城市环境规制强度指标*er*,采用插值法和趋势外推法补足缺失值。②低碳城市试点政策(*low_carbon*),参考Beck等(2010)的多期DID方法的设定要求,*low_carbon_{it}*虚拟变量在*i*城市实施低碳城市试点政策及以后的年份取值为1,否则为0。③碳排放权交易试点政策(*carbon_trade*)。碳排放交易政策通过约束企业二氧化碳排放总量,并通过价格机制将环境污染的外部性成本内部化,提高企业生产成本,进而刺激企业绿色创新。

(3)创新支持政策。其一是省级知识产权保护水平(*qrate*),知识产权保护通过提供良好的协同创新环境,有助于激励绿色低碳技术研发与合作,鉴于这一指标的城市维度数据获取较为困难,参考孙博文和张友国(2022)的研究,对城市所在省份的行政执法保护水平进行测度,计算公式为:省级知识产权保护=1-专利侵权纠纷/当年专利申请授权数量。其二是创新推动政策(*innovative*)。将国家创新型城市试点政策作为创新推动政策的代表,并基于准自然实验思想以及多期DID方法进行设定。

(二)数据来源与描述性统计

专利数据来源已在前文详述,本文城市及省级层面的指标来自历年的《中国统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国环境统计年鉴》和中国经济社会发展统计数据库等。在对数据缺失较为严重的城市进行剔除后,本研究样本对象为278个地级及以上城市,指标数据时间窗口为2006—2020年。主要指标的统计描述见表2。

表2 描述性统计

	变量名称	变量	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量及分解	区域(城市)协同绿色低碳技术创新	<i>rsi</i>	4,170	21.79	141.8	0	3676
	集约边际	<i>extensive</i>	4,170	4.235	11.33	0	199
	拓展边际	<i>intensive</i>	4,170	1.904	7.158	0	344
技术供给溢出效应	城市绿色创新能力	<i>ln gpapent</i>	4,170	3.063	1.821	0	9.244
技术需求牵引效应	城市绿色技术转移	<i>gtr</i>	4,170	10.77	47.85	0	1125
技术合作网络成本效应	度数中心度(绿色专利合作研发无向网络)	<i>DC</i>	4,170	0.0125	0.0333	0	0.585
	介数中心度(绿色专利合作研发无向网络)	<i>BC</i>	4,170	0.00374	0.0309	0	0.829
	出度中心度(绿色技术转移有向网络)	<i>dc_out</i>	4,170	0.0300	0.0640	0	0.653
	入度中心度(绿色技术转移有向网络)	<i>dc_in</i>	4,170	0.0296	0.0536	0	0.497
	中介中心度(绿色技术转移有向网络)	<i>bc</i>	4,170	0.00254	0.0109	0	0.237
	省级技术市场交易	<i>ln tech</i>	4,170	0.00874	0.0126	0	0.164
	高铁开通	<i>HSR</i>	4,170	0.337	0.473	0	1
	数字经济发展	<i>dige</i>	4,170	0.1218	1.1563	-1.1298	12.5708
其他影响因素控制变量	城市人均GDP	<i>ln pgdp</i>	4,170	16.28	1.012	12.76	19.77
	城市产业结构	<i>ins</i>	4,170	36.86	13.89	0	83.87
	城市金融发展水平	<i>fin</i>	4,170	2.518	1.962	0	38.24
	城市外商直接投资	<i>ln fdi</i>	4,170	4.254	0.827	0.477	6.489
	城市环境规制	<i>er</i>	4,170	0.731	0.162	0.0200	1.053
	低碳城市试点	<i>low_carbon</i>	4,170	0.219	0.414	0	1
	碳排放权交易试点	<i>carbon_trade</i>	4,170	0.0983	0.2978	0	1
	政策主体协同	<i>zts</i>	4,170	1.907	1.396	0	6
	政策工具协同	<i>gjs</i>	4,170	1.794	1.131	0	3
	区域政策协同	<i>rps</i>	4,170	4.664	3.531	0	15.75
	省级知识产权保护	<i>qrte</i>	4,170	0.00396	0.00520	0	0.0490
	创新城市试点	<i>innovative</i>	4,170	0.156	0.363	0	1

(三)实证结果与讨论

1. 基准回归

表3报告了基准回归结果。根据逐步回归法,列(1)至列(3)逐次将核心解释变量、经济社会发展因素、政策因素等纳入回归方程,发现核心解释变量的系数与显著性未发生很大变动,凸显了研究结论的稳健性。基于列(3)回归结果的讨论如下:

技术供给溢出效应和技术需求牵引效应均显著促进区域协同绿色低碳技术创新。城市绿色创新能力对区域协同绿色低碳技术创新水平具有显著的正面影响,通过发挥绿色技术供给溢出效应,绿色创新基础好的城市更利于达成创新合作关系,也因此表现出更好的创新协同能力。城市绿色技术转移系数也显著为正,技术转移可能通过发挥需求牵引效应和网络通道效应促进区域协同绿色低碳技术创新水平的提升。技术转移通过发挥市场“无形之手”作用,将通过需求牵引效应促进不同机构协同创新,能够推进创新要素有机联结以及促进产学研协同创新。此外,城市绿色技术转移网络显著降低了区域协同创新合作成本,促进地区绿色技术研发合作。

技术合作网络成本效应也显著存在,城市合作研发网络以及技术转入网络中心度越高,则越有利于降低合作成本,促进区域协同创新,并且高铁开通以及数字经济发展也表现出积极的促进作用。(1)城市绿色技术研发和转移网络特征变量中,合作研发网络节点特征(度数中心度、介数中心度)与技术转移网络节点特征(入度中心度、出度中心度、中介中心度)表现出不同的影响作用。一方面,在合作研发无向网络中,合作研发度数中心度系数显著为正,说明随着城市在创新合作网络中重要程度的提升,可支配的创新合作资源增加,并有助于提高当地的区域协同绿色低碳技术创新能力,表现出一定的局部影响力。介数中心度的回归系数显著为负,说明创新合作网络的核心节点城市对创新合作资源的全局控制能力不强。另一方面,在技术转移有向网络中,入度中心度显著为正,出度中心度为负但不显著,说明相比于技术转出,技术转入对城市主体缔结合作关系发挥了更大促进作用。(2)技术市场交易变量系数为负,且未通过显著检验,这意味着技术交易市场对协同创新的激励作用不明显,其原因可能是技术交易市场还不够成熟,技术交易水平不高,绿色低碳技术市场交易体系仍有待完善。(3)高铁开通变量系数显著为正。交通基础设施的不断完善以及高铁网络密度的不断提升,极大地压缩了要素流动的时空成本,有助于促进创新要素的流动以及不同地区之间的绿色技术创新合作。(4)数字经济发展水平变量系数显著为正。数字技术应用通过降低信息传输的成本以及提高信息传递的精准性,进而增强城市之间创新合作。并且,依托数字技术搭建网络协同创新平台,有助于降低企业的合作研发机会成本,提升协同创新水平。

表 3 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)
	ln <i>rsi</i>	ln <i>rsi</i>	ln <i>rsi</i>
城市绿色创新能力	0.126*** (0.026)	0.128*** (0.026)	0.126*** (0.025)
城市绿色技术转移	0.159*** (0.025)	0.154*** (0.025)	0.129*** (0.025)
度数中心度	15.062*** (2.027)	14.899*** (2.026)	12.910*** (2.007)
介数中心度	-8.672*** (1.310)	-8.421*** (1.295)	-7.395*** (1.247)
出度中心度	-0.443 (0.463)	-0.360 (0.466)	-0.644 (0.486)
入度中心度	1.191** (0.589)	1.269** (0.584)	1.354** (0.585)
中介中心度	-2.259 (3.782)	-3.000 (3.574)	-4.173 (3.714)
省级技术市场交易	-0.039 (0.033)	-0.041 (0.034)	-0.048 (0.033)
高铁开通	0.078** (0.034)	0.075** (0.034)	0.069** (0.034)
数字经济发展	0.079*** (0.026)	0.077*** (0.026)	0.061** (0.024)
城市人均GDP		0.048 (0.153)	-0.001 (0.151)
城市产业结构		0.007* (0.004)	0.006* (0.004)
城市金融发展水平		-0.004 (0.011)	-0.003 (0.011)
城市外商直接投资		0.031 (0.031)	0.036 (0.031)
城市环境规制			0.031 (0.182)
低碳城市试点			-0.034 (0.058)
碳排放权交易试点			0.098 (0.074)
政策主体协同			-0.134 (0.095)
政策工具协同			-0.176* (0.090)
区域政策协同			0.049 (0.038)
省级知识产权保护			2.082 (4.042)
创新城市试点			0.397*** (0.081)
年份固定效应	有	有	有
城市固定效应	有	有	有
样本量	3,892	3,892	3,892
调整的R ²	0.821	0.821	0.823

注:*表示P<0.10,**表示P<0.05,***表示P<0.01;括号内数值为城市层面聚类标准误;下表同。

其他影响因素中:一方面是经济社会发展因素。城市产业结构系数显著为正,第三产业结构占比越高则区域协同创新水平越强。城市人均GDP和省级知识产权保护水平等对区域协同绿色低碳技术创新也有正面作用,但系数均未能通过显著性检验,城市经济发展水平和知识产权保护水平仍有待提升。外商直接投资系数也不显著,其原因可能是,部分城市通过引进外资获取先进技术和管理经验,虽然有助于通过获得外商投资溢出效应促进技术进步,但也可能会因为技术依赖弱化了自身技术研发投入激励。另一方面是政策因素。区域协同政策系数为正,有助于促进区域协同创新,但未能通过显著检验,这与区域政策主体协同和内容协同度不高密切相关。城市环境规制未能通过显著性检验,未能显著促进不同地区绿色低碳技术创新合作,低碳城市试点政策系数也不显著,可能是因为,环境规制会通过“波特效应”促进城市绿色技术创新,但由于不同地区绿色发展导向以及环境规制强度竞争的差异,技术创新合作下的“携手并进”特征还不明显。创新城市试点对区域创新协同具有正向激励,与环境规制政策效果不同,创新政策在促进区域协同技术创新方面表现出更显著的作用,凸显了地方政府对技术创新的高度重视。

2. 拓展边际与集约边际作用渠道

区域(城市)协同创新水平可以分解为拓展边际和集约边际两个方面。绿色发明专利授权合作城市数量反映创新合作的广度,体现城市的绿色低碳技术创新协同的拓展边际特征。城市的平均城市合作专利授权数量反映创新合作的强度,呈现出城市的绿色低碳技术创新协同的集约边际特征,分别取对数并作为被解释变量进行回归。同基准模型分析思路,采用逐步回归法进行估计,结果见表4,对列(3)和列(6)结果进行分析如下。

技术供给溢出效应和技术需求牵引效应均显著提升了区域协同绿色低碳技术创新的拓展边际和集约边际。结果显示,提升城市绿色创新能力与促进城市绿色技术转移,不仅有助于增加与之合作的城市数量,拓展了城市绿色低碳技术专利合作研发网络,吸引更多城市成为新的合作研发网络节点,还有助于城市间合作关系的深化,显著提升了既有合作的强度。

技术合作网络成本效应的发挥取决于差异化的机制作用,表现为以提升拓展边际为主、集约边际改善不足。其中,合作研发度数中心度针对拓展边际和集约边际的回归系数均显著为正,说明随着节点城市在合作网络的重要性的提高,无论是对与尚未达成合作的城市的新合作关系的缔结,还是现有合作城市的合作往来的深化均具有促进作用。介数中心度对拓展边际与集约边际的回归系数均为负,再次说明核心节点城市对创新资源的控制能力不强。出度中心度对拓展边际的回归系数不显著,但入度中心度的回归系数显著为正,说明相比于技术转出,接受技术转入对拓展边际的促进作用更大,更有助于与尚未合作的城市缔结新合作关系。出度中心度对集约边际的系数显著为负,而入度中心度的系数显著为正,技术转出暂未发挥出对合作强度提升的正面作用,但接受技术转入对合作深化发挥了促进作用。数字经

济和高铁开通对拓展边际的回归系数显著为正,高铁开通通过加快创新要素的流动发挥积极作用,数字经济对城市间创新合作广度的延伸的促进作用可能是通过数字技术搭建网络协同创新平台实现的,协同创新平台的搭建增加了城市间从无到有建立合作关系的可能。

表 4 拓展边际与集约边际回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	ln extensive	ln extensive	ln extensive	ln intensive	ln intensive	ln intensive
城市绿色创新能力	0.074*** (0.017)	0.074*** (0.017)	0.072*** (0.017)	0.066*** (0.018)	0.066*** (0.018)	0.066*** (0.017)
城市绿色技术转移	0.089*** (0.016)	0.088*** (0.016)	0.077*** (0.016)	0.028* (0.015)	0.026* (0.014)	0.027* (0.015)
度数中心度	7.605*** (1.263)	7.572*** (1.270)	6.671*** (1.268)	2.558*** (0.886)	2.501*** (0.872)	2.525*** (0.913)
介数中心度	-4.461*** (0.805)	-4.388*** (0.806)	-3.961*** (0.783)	-0.958* (0.560)	-0.921* (0.547)	-0.999* (0.567)
出度中心度	0.074 (0.289)	0.087 (0.294)	-0.014 (0.303)	-0.560** (0.256)	-0.619** (0.261)	-0.620** (0.270)
入度中心度	0.817** (0.385)	0.856** (0.385)	0.865** (0.381)	0.647* (0.335)	0.650* (0.336)	0.634* (0.336)
中介中心度	-3.092 (2.530)	-3.340 (2.472)	-3.599 (2.513)	-1.932 (1.762)	-1.828 (1.775)	-1.979 (1.845)
省级技术市场交易	-0.026 (0.023)	-0.026 (0.023)	-0.030 (0.023)	-0.003 (0.020)	-0.009 (0.019)	-0.016 (0.019)
高铁开通	0.063** (0.025)	0.062** (0.025)	0.059** (0.025)	0.017 (0.022)	0.015 (0.023)	0.014 (0.022)
数字经济发展	0.055*** (0.019)	0.055*** (0.019)	0.049*** (0.018)	0.009 (0.015)	0.008 (0.015)	0.007 (0.015)
城市人均 GDP		0.008 (0.100)	-0.004 (0.099)		0.089 (0.098)	0.087 (0.097)
城市产业结构		0.002 (0.002)	0.002 (0.002)		0.002 (0.002)	0.002 (0.002)
城市金融发展水平		-0.005 (0.009)	-0.005 (0.009)		-0.006 (0.007)	-0.004 (0.007)
城市外商直接投资		0.001 (0.019)	0.002 (0.019)		0.039* (0.022)	0.040* (0.022)
城市环境规制			-0.016 (0.107)			0.113 (0.128)
低碳城市试点			-0.010 (0.036)			-0.042 (0.039)
碳排放权交易试点			0.000 (0.042)			0.120** (0.054)
政策主体协同			-0.106* (0.062)			0.034 (0.063)
政策工具协同			-0.138** (0.063)			-0.013 (0.058)
区域政策协同			0.037 (0.025)			-0.016 (0.025)
省级知识产权保护			-1.916 (2.477)			0.919 (2.861)
创新城市试点			0.184*** (0.054)			0.009 (0.038)
年份固定效应	有	有	有	有	有	有
城市固定效应	有	有	有	有	有	有
样本量	3,892	3,892	3,892	3,892	3,892	3,892
调整的 R ²	0.807	0.807	0.808	0.627	0.628	0.629

其他控制变量中,外商直接投资对集约边际的回归系数显著为正,外商投资带来的先进技术和管理经验,能够通过技术溢出发挥作用促进城市间创新合作关系的深化。但城市经济发展水平、城市金融水平、产业结构、数字经济、高铁开通等对集约边际的影响均未能通过显著性检验。在政策因素中,区域政策协同未能有效促进拓展边际提升,甚至政策工具协同和政策主体协同的效果显著为负,其原因可能是当前区域政策协同总体水平不高,尚未达到对拓展边际的促进作用的门槛。此外,碳排放权交易对集约边际具有显著正面影响。创新城市试点政策对拓展边际具有正面影响,而低碳城市试点政策和碳排放权交易试点政策效果不显著。

3. 考虑空间溢出效应的稳健性分析

考虑到绿色低碳技术创新具有直观的区域协同和空间关联特性,因此有必要在考虑其空间溢出效应的基础上进一步考察研究结论的稳健性。图2及图3分别报告了2007年与2020年的局部Moran's I散点图。与2007年相比,2020年局部Moran's I指数整体提高,位于第一象限的城市数量明显增多,说明区域协同绿色低碳技术创新能力强的地区对周边城市产生正向辐射,且这一带动作用逐渐增强。其中,北京、天津、上海、广州、南京等位于第一象限的城市自身协同创新能力较强,加之周边高协同创新水平区域的辐射影响,呈现出高-高集聚特征。保定、张家口、莆田、朔州等位于第二象限的城市毗邻高协同创新水平的区域,但自身吸收能力较弱,协同创新水平不强。包头、鄂尔多斯、呼伦贝尔、宜宾等位于第三象限的城市自身与周边地区的协同创新能力均不强,呈现出低-低集聚特征。哈尔滨、齐齐哈尔、拉萨、西安、重庆等位于第四象限的城市自身协同创新能力较强,但辐射带动作用较弱。

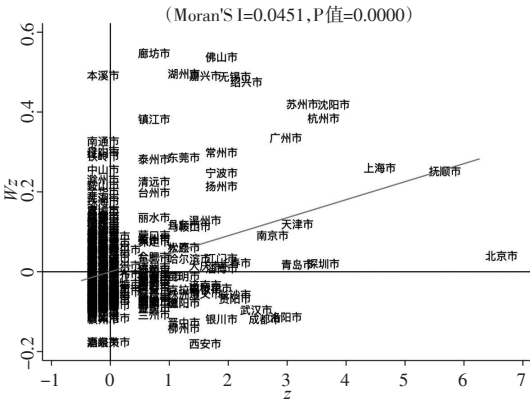


图2 2007年局部莫兰散点图

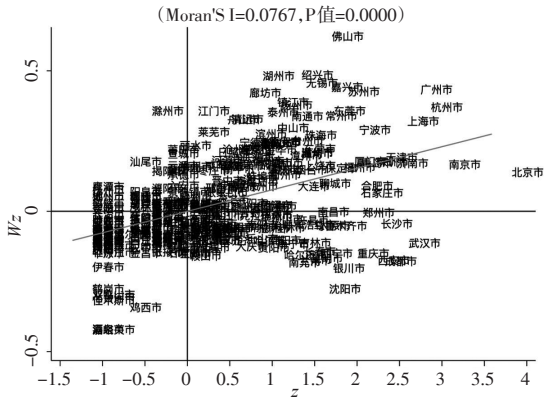


图3 2020年局部莫兰散点图

借鉴主流文献的判断规则(Lesage & Pace, 2009),在进行空间计量回归之前有必要对模型进行LM检验、LR检验、时间-空间效应检验,以选择科学的空间计量回归模型。检验发现LM检验统计量均在1%水平上显著,有必要选择空间计量模型开展实证分析;LR统计量在1%水平上显著,空间杜宾模型(SDM)优于空间误差模型及空间滞后模型;时间-空间固定效

应检验表明,双固定效应优于时间固定效应,但可以退化为个体固定效应,因此SDM模型的设定仅考虑城市固定效应。基于以上分析,构造空间杜宾计量模型如下:

$$\ln rsi_{it} = a_0 + \rho W \ln rsi_{it} + \delta M_{it-1} + \lambda W M_{it-1} + \eta_i + \mu_{it} \quad (2)$$

其中, M 为解释变量,具体变量内涵见模型(1)说明, W 为地理距离空间权重矩阵^①,详细设定方式见孙博文和张友国(2022),此处不再赘述。 a_0 为常数项, η_i 表示城市固定效应, μ_{it} 为随机扰动项。

表5报告了基于空间杜宾模型的回归结果。空间杜宾回归系数 ρ 值显著为正,说明各地区域协同绿色低碳技术创新水平呈现较为明显的空间集聚效应,临近地区协同绿色低碳技术创新水平的提升将促进本地区区域协同绿色低碳技术创新水平的提升。列(1)为空间杜宾模型解释变量的回归系数,列(2)为解释变量与空间权重矩阵交互项系数,代表解释变量的空间溢出效应,列(3)、列(4)和列(5)分别为采用偏微分法计算出的各变量的直接效应、间接效应和总效应。

从技术供给溢出效应和技术需求牵引效应的角度看,城市绿色创新能力的直接效应与间接效应均显著为正,城市绿色创新基础能力的提升过程也是其绿色创新资源不断积累的过程,不仅有助于提升当地的区域协同绿色低碳技术创新能力,还能通过知识和技术的外溢性提升周边地区区域协同绿色低碳技术创新水平。绿色技术转移的直接效应系数显著为正,表明绿色技术转移有利于当地区域协同绿色低碳技术创新水平的提升,其间接效应系数也显著为正,且绝对值较直接效应系数更大,表现出明显的空间溢出效应,且对临近地区的促进作用较当地而言更大。

从技术合作网络成本效应的角度看,度数中心度的直接效应显著为正,间接效应显著为负,说明本城市在协同创新网络地位的的提高有助于当地协同创新能力的提升,但对临近城市协同创新能力产生负面影响。究其原因,是创新资源的稀缺性。城市在区域协同网络中重要性的提高,为当地吸引了更多的创新合作资源,但也对临近城市的区域协同绿色创新资源造成挤占,可获得创新资源的变化直接影响到城市的区域协同绿色低碳技术创新能力。两种作用渠道并存导致度数中心度对区域整体的总效应为负。介数中心度的直接效应显著为负,而间接效应显著为正,说明核心节点城市对协同创新资源的控制能力不强,但对带动周边地区协同创新能力的提升具有促进作用。入度中心度的直接效应和间接效应系数均为正,接受技术转入不仅有助于提高当地协同创新水平,还会通过技术的外溢性带动临近地区创新水平的发展。而出度中心度的直接效应和间接效应系数均为负但并不显著,说明相比于技术转出,接受技术转入对区域协同创新水平的正面影响更明显。城市经济发展水平的直接效应不显

①基于经济距离矩阵以及经济地理距离矩阵回归结论同样稳健。

著,但间接效应显著为负,说明经济发达的城市一定程度上会挤占周边地区的创新资源,表现出负的空间溢出效应。数字经济和高铁开通的直接效应均显著为正,间接效应为负但不显著,说明发展数字经济和推动创新资源与要素流动均有助于当地区域协同创新水平的提高,但空间溢出效果不明显,未能发挥辐射带动作用。

表5 空间杜宾模型回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	空间杜宾模型	空间溢出效应	直接效应	间接效应	总效应
城市绿色技术转移	0.110*** (0.020)	0.398** (0.165)	0.119*** (0.021)	1.896** (0.771)	2.016*** (0.775)
城市绿色创新能力	0.110*** (0.020)	0.135 (0.122)	0.114*** (0.020)	0.861* (0.515)	0.975* (0.515)
度数中心度	12.195*** (1.243)	-23.889*** (6.281)	11.884*** (1.211)	-58.836** (25.240)	-46.952* (25.408)
介数中心度	-7.097*** (1.159)	25.530** (9.946)	-6.626*** (1.155)	80.086** (39.485)	73.459* (39.822)
出度中心度	-0.559 (0.450)	-3.865 (2.886)	-0.633 (0.437)	-16.948 (11.804)	-17.581 (11.735)
入度中心度	0.936* (0.554)	-0.405 (3.364)	0.953* (0.517)	1.003 (13.912)	1.956 (13.854)
中介中心度	-2.534 (2.953)	13.140 (20.739)	-2.437 (2.916)	43.034 (83.977)	40.596 (84.169)
高铁开通	0.070** (0.035)	-0.217 (0.274)	0.069* (0.036)	-0.693 (1.117)	-0.624 (1.118)
数字经济发展	0.065*** (0.022)	-0.071 (0.197)	0.064*** (0.023)	-0.082 (0.793)	-0.018 (0.799)
城市人均GDP	-0.008 (0.117)	-1.576*** (0.609)	-0.035 (0.121)	-6.263** (2.885)	-6.297** (2.882)
城市产业结构	0.003 (0.003)	0.005 (0.006)	0.003 (0.003)	0.030 (0.022)	0.033 (0.022)
城市金融发展水平	0.001 (0.009)	-0.101* (0.061)	-0.001 (0.009)	-0.373 (0.263)	-0.374 (0.263)
城市外商直接投资	0.013 (0.026)	0.535*** (0.189)	0.025 (0.025)	2.141** (0.842)	2.166** (0.843)
城市环境规制	0.095 (0.125)	0.056 (0.597)	0.105 (0.131)	0.290 (2.346)	0.395 (2.349)
低碳城市试点	0.033 (0.043)	-0.216 (0.180)	0.027 (0.044)	-0.805 (0.712)	-0.778 (0.704)
政策主体协同	-0.097 (0.109)	0.088 (0.206)	-0.102 (0.105)	0.039 (0.668)	-0.064 (0.646)
政策工具协同	-0.166 (0.107)	0.322** (0.142)	-0.167 (0.103)	0.771** (0.386)	0.603 (0.372)
区域政策协同	0.043 (0.044)	-0.081 (0.097)	0.045 (0.043)	-0.182 (0.332)	-0.138 (0.322)
创新城市试点	0.396*** (0.053)	-0.407 (0.528)	0.394*** (0.055)	-0.438 (2.133)	-0.044 (2.138)
空间杜宾回归系数(ρ)	0.733*** (0.054)	0.733*** (0.054)	0.733*** (0.054)	0.733*** (0.054)	0.733*** (0.054)
样本量	3,892	3,892	3,892	3,892	3,892
R ²	0.692	0.692	0.692	0.692	0.692

注:控制城市固定效应。

其他控制变量中,外商直接投资的总效应显著为正,外商直接投资带来了先进技术和管理经验,有利于当地创新能力的提高,同时还通过发挥知识溢出效应,带动临近地区协同创新能力的发展,进而对区域整体的绿色协同创新水平产生正面影响。另外,产业结构、金融发展水平、环境规制等对区域协同绿色低碳技术创新水平的直接影响不显著,也未表现出明显的空间溢出效应。区域协同政策发挥作用并不理想,仅政策工具协同表现出显著的溢出效应,其原因可能是各城市的区域协同政策协同水平普遍不高,因而未能充分发挥对区域协同绿色低碳技术创新的促进作用。创新城市试点政策和低碳城市试点政策的直接效应为正,且仅创新城市试点政策系数显著,但二者间接效应系数均为负。其原因可能是试点城市会享受资源的倾斜,更易于吸引资金和技术的进入,有助于激发当地的绿色创新活力,但也挤占了临近地区创新活动的空间,表现出负的空间溢出效应。

五、研究结论与对策建议

(一)研究结论

基于新熊彼特创新理论以及创新价值链理论,立足于技术供给溢出效应、技术需求牵引效应以及技术合作网络成本效应的三维视角,本研究创新地构建了一个包含上述效应在内的区域协同创新影响因素的系统分析框架。基于全国2006—2020年近千万条专利数据对城市协同绿色低碳技术创新特征事实进行分析,并采用面板回归模型对其影响因素进行实证检验。结果发现:(1)各城市绿色低碳技术发明专利合作申请数不断增长,区域协同创新合作网络不断完善。绿色低碳技术创新协同水平拓展边际显著、合作城市数量不断提升,但集约边际不显著、合作强度有待进一步加强。动态合作视角看,城市合作关系稳定性逐渐提高,但依然有大量节点城市还未建立稳固合作关系。(2)从影响因素看,技术供给溢出效应、技术需求牵引效应以及技术合作网络成本效应对区域协同绿色低碳技术创新的影响都显著存在,但在不同的代理变量选择中存在一定的结论差异,即城市绿色创新能力与城市绿色技术转移系数都显著为正,证实了技术供给溢出效应和技术需求牵引效应。技术合作网络成本效应的检验发现,城市绿色创新局部影响力对协同创新合作的影响力更大、全局影响力的影响还比较有限,高铁开通以及数字经济发展显著促进了协同创新,但技术市场交易影响不显著。(3)从拓展边际与集约边际二元视角看,城市绿色创新能力与城市绿色技术转移对拓展边际与集约边际都表现出显著的促进作用,但技术合作网络成本效应的发挥取决于差异化的机制作用,并且以提升拓展边际为主,集约边际改善不足。(3)考虑空间溢出效应结果发现,区域协同绿色低碳技术创新空间溢出效应显著,并且技术供给溢出效应以及技术需求牵引效应的直接效应和间接效应均显著,但不同技术合作网络成本效应变量的直接与间接效应在系数符号以及显著性方面存在较大差异。

(二)对策建议

针对研究结论,提出以下促进区域协同绿色低碳技术创新的对策建议。一是聚焦绿色低碳关键技术实现新突破,充分发挥城市绿色低碳技术创新供给溢出效应。面向国家“双碳”目标和国际碳减排科技发展前沿,聚焦加强前沿和颠覆性低碳技术创新,加大对新能源开发、智能电网、二氧化碳捕集利用、储能等重点技术的研发投入以及政策支持。积极总结近些年来已经形成明显国际优势的新能源产业(如新能源汽车行业)技术路线图及关键技术突破(如动力电池)发展经验,支持光伏发电、新能源汽车、动力电池等领域龙头企业与高校、科研机构成立关键技术攻关联合实验室,提升绿色低碳技术创新能力。二是建立多层次绿色低碳技术交易市场,发挥需求牵引效应促进绿色低碳技术创新成果转移转化。鼓励各地区、有关单位依托或整合现有交易场所,建设区域性、专业性特色鲜明的绿色技术交易市场,促进区域绿色低碳技术交易,以市场交易带动绿色低碳技术研发以及产业绿色发展。积极总结推广绿色技术交易成功经验与模式,通过与当地政府签订绿色技术转化战略合作协议进行跨区域推广应用并带动当地绿色产业化,开展绿色技术综合集成并打造园区绿色技术应用场景范式,借助绿色技术创新和产业联盟的资源渠道并集社会之力推进绿色技术转化。建议在当前浙江设立的国家绿色技术交易中心基础上,发挥北京市绿色技术创新引领作用,建立国际绿色技术交易中心,打造具有国内引领性、国际影响力、全面开放的市场化绿色技术交易综合性服务平台。充分发挥政府绿色采购的技术需求牵引作用,扩大政府绿色采购范围,遴选市场急需、具有实用价值、开发基础较好的绿色低碳共性关键技术,以公开招标采购等方式购买技术,并通过发布公告等形式向社会免费推广应用。三是加强不同地区产学研政策协调,提升区域协同创新政策效能。在政策主体协同方面,将生态环境绩效指标纳入地方考核体系,增强不同地区绿色发展共识,在此基础上,加强产学研政策制定部门协调沟通,降低绿色技术创新领域政策冲突以及提高政策执行精准度;在政策内容协同方面,供给端提供绿色低碳技术研发补贴和税收优惠,需求端增加政府采购;环境政策方面完善知识产权保护,通过供给政策、需求政策及环境政策齐发力,刺激企业、高校和科研机构的合作,推动形成紧密的创新生态系统以及科技成果的转化和应用。四是完善数字基础设施建设,以数字经济发展赋能区域协同绿色技术创新。以5G、工业互联网、物联网等为代表的新型数字经济基础设施的快速发展,为创新活动由地理空间集聚向数字空间集聚提供重要契机,引发更大范围创新要素和创新主体在数字空间整合和重构,促进消除区域协同创新壁垒,进而呈现一种全新的区域协同创新方式。为此,有必要积极搭建数字化绿色技术创新平台,促进区域协同绿色创新。

参考文献:

- [1] 陈劲,阳银娟. 协同创新的理论基础与内涵[J]. 科学学研究,2012,30(02):161-164.

- [2] 陈强远,林思彤,张醒. 中国技术创新激励政策:激励了数量还是质量[J]. 中国工业经济,2020(04): 79-96.
- [3] 丁仲礼,张涛. 碳中和逻辑体系与技术需求[M]. 北京:科学出版社,2022.
- [4] 高丽娜,蒋伏心,熊季霞. 区域协同创新的形成机理及空间特性[J]. 工业技术经济,2014,33(03): 25-32.
- [5] 郭丰,任毅. 数字经济如何赋能城市绿色全要素生产率?——基于数字技术创新与产业结构升级视角[J]. 环境经济研究,2023,8(04):74-94.
- [6] 何郁冰. 产学研协同创新的理论模式[J]. 科学学研究,2012,30(02):165-174.
- [7] 黄和平,谢云飞. 高铁开通的碳减排效应研究——兼议经济与环境双重目标的约束[J]. 环境经济研究, 2022,7(04):1-22.
- [8] 黄万华,王梦迪.长江经济带制造业绿色技术创新效率测度[J]. 统计与决策,2021,37(19):61-63.
- [9] 李翠锦,李万明,王太祥. 我国企业绿色技术创新的新制度经济学分析[J]. 现代管理科学,2004(11): 25-26.
- [10] 李平. 论绿色技术创新主体系统[J]. 科学学研究,2005(03):414-418.
- [11] 李强,陈山漫. 绿色信贷政策、融资成本与企业绿色技术创新[J]. 经济问题,2023(08):67-73+120.
- [12] 李旭辉,陶贻涛. “双碳”目标下中国绿色低碳创新发展测度、区域差异及成因识别[J]. 中国人口·资源 与环境,2023,33(01):124-136.
- [13] 李宗显,杨千帆. 数字经济如何影响中国经济高质量发展?[J]. 现代经济探讨,2021(07):10-19.
- [14] 梁运吉,刘冰冰. 社会责任、融资约束与企业绿色技术创新[J]. 会计之友,2022(17):61-68.
- [15] 梁运吉,孙兴旺,梁梓潞. 减税激励、绿色技术创新与制造业高质量发展[J]. 会计之友,2023(12): 98-105.
- [16] 刘承良,管明明,段德忠. 中国城际技术转移网络的空间格局及影响因素[J]. 地理学报,2018,73(08): 1462-1477.
- [17] 刘丹,闫长乐. 协同创新网络结构与机理研究[J]. 管理世界,2013(12):1-4.
- [18] 刘立,陆小成,李兴川. 科学发展观视野下的低碳技术创新及其社会建构[J]. 中国科技论坛,2009 (07):48-52.
- [19] 刘雯,曹思未,叶静怡. 社会网络与高校专利技术成果转移[J]. 世界经济,2020,43(09):173-192.
- [20] 裴潇,蒋安璇,叶云,等. 民间投资、环境规制与绿色技术创新——长江经济带11省市空间杜宾模型 分析[J]. 科技进步与对策,2019,36(08):44-51.
- [21] 任龙,姜学民,傅晓晓. 基于专利权转移的中国区域技术流动网络研究[J]. 科学学研究,2016,34(07): 993-1004.
- [22] 沈坤荣,金刚,方嫒. 环境规制引起了污染就近转移吗?[J]. 经济研究,2017,52(5):44-59.
- [23] 史安娜,唐琴娜. 长江经济带低碳技术创新对能源碳排放的影响研究[J]. 江苏社会科学,2019(02): 54-62.
- [24] 孙博文. 城市协同创新与绿色技术转移的互动关系:基于创新价值链循环视角[J]. 中国人口·资源与 环境,2024(1):139-150.
- [25] 孙博文,张友国. 中国绿色创新指数的分布动态演进与区域差异[J]. 数量经济技术经济研究,2022,39 (01):51-72.
- [26] 孙大明,原毅军. 空间外溢视角下的协同创新与区域产业升级[J]. 统计研究,2019,36(10):100-114.
- [27] 孙静,马海涛,王红梅. 财政分权、政策协同与大气污染治理效率:基于京津冀及周边地区城市群面板 数据分析[J]. 中国软科学,2019(8):154-165.
- [28] 王婧,杜广杰. 中国城市绿色创新空间关联网及其影响效应[J]. 中国人口·资源与环境,2021,31

(05):21-27.

[29] 王郁,赵一航. 区域协同发展政策能否提高公共服务供给效率?——以京津冀地区为例的研究[J]. 中国人口·资源与环境,2020,30(08):100-109.

[30] 肖振红,李炎. 绿色技术创新模式、环境规制与产学研协同绿色创新[J]. 管理工程学报,2023,37(04):16-29.

[31] 徐保昌,潘昌蔚,李思慧. 环境规制抑制中国企业规模扩张了吗?[J]. 中国地质大学学报(社会科学版),2020,20(2):74-91.

[32] 许汉友,高一璇. 绿色技术创新与企业成本粘性[J]. 财会通讯,2023(16):29-34.

[33] 叶伟巍,梅亮,李文,等. 协同创新的动态机制与激励政策——基于复杂系统理论视角[J]. 管理世界,2014(06):79-91.

[34] 易明,王腾,吴超. 外商直接投资、知识溢出影响区域创新水平的实证研究[J]. 宏观经济研究,2013(03):98-105.

[35] 俞国平. 制度创新是建立绿色技术创新机制的关键[J]. 财经论丛(浙江财经学院学报),2002(06):19-22.

[36] 余泳泽,刘大勇. 我国区域创新效率的空间外溢效应与价值链外溢效应——创新价值链视角下的多维空间面板模型研究[J]. 管理世界,2013(07):6-20+70+187.

[37] 袁胜超. 数字化驱动了产学研协同创新吗?——兼论知识产权保护与企业吸收能力的调节效应[J]. 科学学与科学技术管理,2023,44(04):60-81.

[38] 张倩. 环境规制对绿色技术创新影响的实证研究——基于政策差异化视角的省级面板数据分析[J]. 工业技术经济,2015,34(07):10-18.

[39] 赵晶,迟旭,孙泽君. “协调统一”还是“各自为政”:政策协同对企业自主创新的影响[J]. 中国工业经济,2022(8):175-192.

[40] 赵涛,张智,梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据[J]. 管理世界,2020,36(10):65-76.

[41] 中金研究院,中金公司研究部. 碳中和和经济学——新约束下的宏观与行业趋势[M]. 北京:中信出版社,2021.

[42] 周开国,卢允之,杨海生. 融资约束、创新能力与企业协同创新[J]. 经济研究,2017,52(7):94-108.

[43] Barbieri, N., A. Marzucchi, U. Rizzo. Knowledge Sources and Impacts on Subsequent Inventions: Do Green Technologies Differ From Non-Green Ones? [J]. Research Policy, 2020, 49(2): 103901.

[44] Beck, T., R. Levine, A. Levkov. Big Bad Banks? The Winners and Losers from Bank Deregulation in the United States[J]. The Journal of Finance, 2010, 65(5): 1637-1667.

[45] Becker, W., J. Dietz. R&D Cooperation and Innovation Activities of Firms—Evidence for the German Manufacturing Industry[J]. Research Policy, 2004, 33(2): 209-223.

[46] Blanc, H., C. Sierra. The Internationalisation of R&D by Multinationals: A Trade-off Between External and Internal Proximity[J]. Cambridge Journal of Economics, 1999(2):187-206.

[47] Boschma, R. A. Proximity and Innovation: A Critical Assessment[J]. Regional Studies, 2005, 39(1): 61-74.

[48] Faria, P. D., F. Lima, R. Santos. Cooperation in Innovation Activities: The Importance of Partners[J]. Research Policy, 2010, 39(8): 1082-1092.

[49] Freeman, C., J. Clark, L. Soete. Unemployment and Technological Innovation: A Study of Long Waves and Economic Development[M]. London: Greenwood Press, 1982.

[50] Gloor, P. A., R. Laubacher, S. B. C. Dynes, et al. Visualization of Communication Patterns in Collaborative Innovation Networks—Analysis of Some W3C Working Groups[C] // Proceedings of the 2003 ACM CIKM International

Conference on Information and Knowledge Management. New Orleans, Louisiana, USA: ACM, 2003.

[51] Greenstone, M., J. List, C. Syverson. The Effects of Environmental Regulation on the Competitiveness of U.S. Manufacturing[R]. 2012.

[52] Hanley, D., J. C. Li, M. Q. Wu. High-Speed Railways and Collaborative Innovation[J]. Regional Science and Urban Economics, 2022, 93: 103717.1–103717.38.

[53] Hansen, M. T., J. Birkinshaw. The Innovation Value Chain[J]. Harvard Business Review, 2007(85): 121–135.

[54] Laursen, K., A. Salter. Open for Innovation: The Role of Openness in Explaining Innovation Performance Among U.K. Manufacturing Firms[J]. Strategic Management Journal, 2010, 27(2): 131–150.

[55] Lesage, J. P., R. K. Pace. Introduction to Spatial Econometrics[M]. Boca Raton, FL: CRC Press, 2009.

[56] Letchumanan, R., F. Kodama. Reconciling the Conflict Between the 'Pollution–Haven' Hypothesis and an Emerging Trajectory of International Technology Transfer[J]. Research Policy, 2000, 29(1): 59–79.

[57] Meijers, E., D. Stead. Policy Integration: What Does It Mean and How Can It Be Achieved? A Multidisciplinary Review[C] //Berlin Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change: Greening of Policy–Interlinkages and Policy Integration. Berlin: Environmental Policy Research Center (FFU), 2004.

[58] Porter, M., C. Van der Linde. Toward a New Conception of the Environment–Competitiveness Relationship [J]. Journal of Economic Perspectives, 1995, 9: 97–118.

[59] Rennings, K. Redefining Innovation—Eco-Innovation Research and the Contribution from Ecological Economics[J]. Ecological Economics, 2000, 32(2): 319–332.

[60] Rosenberg, N. Handbook of the Economics of Innovation[M]. North Holland: Elsevier, 2010.

[61] Rothwell, R., W. Zegveld. Reindustrialization and Technology[M]. London: Logman Group Limited, 1985.

[62] Siegel, D. S., D. A. Waldman, L. E. Atwater, et al. Commercial Knowledge Transfers from Universities to Firms: Improving the Effectiveness of University–Industry Collaboration[J]. The Journal of High Technology Management Research, 2003(1): 111–133.

[63] Sun, Y. The Structure and Dynamics of Intra– and Inter–Regional Research Collaborative Networks: The Case of China (1985–2008)[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2016, 108:70–82.

[64] Tsang, E. W. K. Transaction Cost and Resource–Based Explanations of Joint Ventures: A Comparison and Synthesis[J]. Organization Studies, 2000, 21(1): 215–242.

[65] Williamson, E. O. Transaction–Cost Economics: The Governance of Contractual Relations[J]. Journal of Law & Economics, 1979, 22(2): 233–261.

The Regional Collaborative Path for Green and Low-Carbon Technological Innovation: Based on the Technology Supply-Demand Interaction Mechanism Neo-Schumpeterian Innovation Theory

Sun Bowen^{a,b,c}, Yang Xiaofei^a

(a: Faculty of Applied Economics, University of Chinese Academy of Social Sciences; b: Institute of Quantitative Economics and Technical Economics, Chinese Academy of Social Sciences; c: Center for Environment and Development Research, Chinese Academy of Social Sciences)

Abstract: The "double externalities" attribute of green and low-carbon technological innovations and the distinct discrepancy between supply and demand in regional distribution have rendered collaborative innovation a requisite approach for promoting regional key technological innovations and attaining the "dual carbon" goals. Based on the perspective of Neo-Schumpeterian Innovation Theory and the Innovation Value Chain Cycle Theory, this paper erects a comprehensive analytical framework for the influencing factors of regional collaborative innovation, encompassing the spillover effect of technology supply, the traction effect of technology demand, and the cost effect of technology co-operation networks. By drawing on a self-constructed database of green technology cooperation networks among 278 prefecture-level cities and above from 2006 to 2020, this paper reveals that China's regional collaborative green and low-carbon technological innovation level is continuously escalating, with the scope of cooperation continuously expanding, yet the intensity of cooperation requires reinforcement. From the perspective of influencing factors, urban green innovation capabilities and green technology transfer significantly boost regional collaborative green and low-carbon technological innovation. The opening of high-speed rail and the development of the digital economy have significantly promoted collaborative innovation, but the role of the urban green and low-carbon technological innovation network status in collaborative innovation is only reflected in local influence, with insufficient global impact. Urban green innovation capabilities and urban green technology transfer both exhibit significant promotion effects on the expansion margin and intensive margin, but the exertion of the cost effect of technology cooperation networks depends on differentiated mechanisms, mainly enhancing the expansion margin while the overall improvement of the intensive margin is insufficient. After taking into account spatial spillover effects, the research conclusions remain generally robust, yet there are significant differences in the direct and indirect effects of various effect variables. Eventually, based on the research conclusions, countermeasures and suggestions are proposed to promote regional collaborative green and low-carbon technological innovation.

Keywords: Carbon Peak and Carbon Neutrality; Green and Low-Carbon Technological Innovation; Regional Collaboration; The Neo-Schumpeterian Innovation Theory

JEL Classification: Q55, O36, R12

(责任编辑:朱静静)