

长江经济带城际绿色技术流动的时空特征及减排效应研究

金红^{1,2}, 段德忠^{1,2*}

(1. 华东师范大学全球创新与发展研究院, 上海 200062; 2. 华东师范大学地理科学学院, 上海 200241)

摘要:加快绿色技术城际流动,使更多城市能够共享绿色技术,不仅是践行绿色发展战略、实现双碳目标的关键举措,也是促进要素跨区域流动、建设全国统一大市场的关键抓手。论文通过城际绿色专利转让刻画城际绿色技术流动,分析了2001—2020年长江经济带城际绿色技术流动的时空发展动态,并构建回归模型从技术集聚的视角研究了绿色技术流动的减排效应。研究发现:①长江经济带域内绿色技术流动主要由长三角地区主导,绿色技术跨区域流动不畅,跨区域绿色技术扩散经历了“随机流动→向长三角集聚→混流型”的发展路径;②长江经济带—全国绿色技术扩散活动高度集聚在长三角地区,成渝地区逐渐崛起,京津地区和珠三角地区则是长江经济带绿色技术流动的主要合作伙伴,因而形成了以京津、长三角、珠三角、成渝地区为枢纽的菱形网络;③回归结果表明,城市从外部获取绿色技术带来的本地减排效应存在规模门槛效应,即城市从外部获取的绿色技术达到一定规模后才能实现本地碳减排。文章揭示了长江经济带绿色技术流动与碳排放间的关系,对“双碳”背景下优化长江经济带区域绿色协同发展战略具有一定启示。

关键词:绿色专利;绿色技术流动;碳排放;长江经济带

健全资源环境要素市场化配置体系,加快节能降碳先进技术研发和推广应用,是党的二十大报告中对加快发展方式绿色转型、推动绿色发展、促进人与自然和谐共生提出的新要求。节能降碳先进技术是绿色技术中的核心组成部分,也是资源环境要素市场中作为知识和技术型要素的典型代表^[1],加速其研发和推广应用蕴含两层含义:一是要求加大投入强化绿色技术供给,二是要健全市场化配置体系加速绿色技术流动。实际上在供给侧,无论是国际权威机构(如OECD、WIPO)报告还是基于绿色专利申请量的实证研究,中国绿色技术创新已走在国际前列^[2],且中国绿色技术在推动全球可持续发

展上已做出突出贡献。然而,跨城或跨区域绿色技术流动不畅的现象还非常突出,这一方面是由于绿色技术创新活动高度失衡的空间分布特征所导致,另一方面也是由于要素跨区域流动的体制机制建设尚不完善所导致。相关研究表明,中国绿色技术创新活动高度集聚于长三角、珠三角以及京津地区,在绿色技术流动上,大量绿色专利转让行为发生于城市内部^[3]。由此可见,加速绿色技术的跨区域流动,让更多的区域或城市能够共享绿色技术创新成果,不仅是建设国家技术转移体系、建设市场导向的绿色技术创新体系、建设全国统一大市场的目的和出发点,更是促进区域间协同可持续发展的

收稿日期:2023-06-01;修订日期:2023-10-23。

基金项目:国家自然科学基金项目(42271186);教育部人文社会科学研究规划基金项目(22YJA790013)。[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 42271186; MOE Project of Humanities and Social Sciences, No. 22YJA790013.]

第一作者简介:金红(2001—),女,贵州毕节人,硕士生,主要研究方向为全球科技地理。

E-mail: 51253902011@stu.ecnu.edu.cn

***通信作者简介:**段德忠(1989—),男,江苏溧阳人,博士,副教授,主要研究方向为全球科技地理、城市与区域创新。

E-mail: dzduan@geo.ecnu.edu.cn

引用格式:金红, 段德忠. 长江经济带城际绿色技术流动的时空特征及减排效应研究[J]. 地理科学进展, 2024, 43(1): 17-32. [Jin Hong, Duan Dezhong. Spatial and temporal characteristics of intercity green technology flows and emission reduction effects in the Yangtze River Economic Belt. Progress in Geography, 2024, 43(1): 17-32.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2024.01.002

重要抓手^[4-5]。

纵观当前绿色技术流动或扩散相关研究,主要集中在流动或扩散过程的仿真模拟与影响因素研究。在仿真模拟方面,Mansfield^[6]、Bass^[7]分别提出的S型模型、Bass模型是宏观层面模型仿真研究的基础,博弈论则是绿色技术扩散微观层面研究的基石,也是目前国内相关研究领域最常用的研究方法^[8-9]。绿色技术扩散的影响因素方面,区域差异、技术基础、技术吸收能力、需求拉动、利益相关者(消费者、供应者、竞争者)自身属性、预期收益等是主要的影响因素^[10-13]。由于绿色技术创新双重外部性这一特点,环境规制对绿色技术流动的影响受到大量关注^[14],但学界在环境规制对绿色技术流动的影响上尚未达成共识^[15-16]。从空间层面开展城市、区域绿色技术扩散时空过程的研究尚不多见^[17],部分研究从城市层面分析了中国绿色技术流动的时空过程,发现绿色技术扩散与一般技术扩散相同,高度集中在东部沿海和长江经济带组成的“T”型地区,网络从三角格局向菱形格局演化,西部地区的重庆、成都等城市逐渐崛起^[18-19]。也有研究探究了长三角绿色技术转移的时空过程,发现长三角绿色技术转移网络为显著的“核心—边缘”结构^[20]。此外,作为推动绿色发展、实现双碳目标的核心动力,绿色技术创新的减排效应或绿色技术创新推动城市低碳转型发展效应也备受关注,普遍认为绿色技术创新是解决碳排放和环境问题的关键因素^[21-22]。然而,迄今关于绿色技术流动的研究鲜有提及其环境效应,碳减排的驱动因素研究也鲜有从绿色技术流动的视角展开。但事实上,无论在全球尺度还是国家层面,都将绿色技术流动视为减少碳排放的重要手段^[23],因而有必要深度揭示绿色技术流动的减排效应。

长江经济带是国家重大战略发展区域,4次长江经济带发展座谈会明确且牢固了长江经济带“共抓大保护,不搞大开发”的十字发展方针,指明了生态优先、绿色发展是长江经济带的必由之路。已有研究揭示,长江经济带的绿色专利申请量占全国一半左右,是中国绿色技术创新活动的空间集聚区^[24]。作为中国唯一横跨东中西三大板块的一级发展轴线,中国绿色技术创新空间失衡的特征在长江经济带内部显得尤为清晰,长江经济带绿色技术跨区域流动不畅也更是中国绿色技术区际扩散动力不足的一个缩影。同时,长江经济带是中国主要的碳排

放区域,其碳排放总量占中国的40%以上^[25],其碳减排直接关乎中国“双碳目标”的实现。基于此,本文从区域内和区域间两个层面分析2001—2020年长江经济带绿色技术流动的时空动态,并尝试揭示城市从外部获取绿色技术对其碳减排的作用机制,不仅为建立健全全国性绿色技术交易市场提供了良好的案例示范作用,也为理解绿色技术扩散的绿色发展效应这一问题提供了良好的理论价值。

1 研究方法与数据来源

1.1 城际绿色技术流动数据获取

绿色技术是创新驱动可持续发展的直接证据,绿色技术流动则反映了绿色技术在主体间以及空间上的流动。虽绿色技术流动的形式和种类复杂多样,但以绿色专利转让来衡量绿色技术流动是当前定量研究绿色技术扩散的惯例做法^[17],本文亦采用此种衡量方式,同时在绿色专利的识别方法上,借鉴了段德忠等^[24]构建的基于IPC专利分类号的绿色专利识别体系(包括清洁能源技术、温室气体处理技术、绿色交通技术、绿色建筑技术、环境治理技术和绿色水技术)。城际绿色专利转让数据来源于知识产权出版社专利信息服务平台(<http://search.cnipr.com/>)。在保证数据连续性和可获得性的基础上,本文选取2001—2020年长江经济带9省2市共130个地级及以上城市为研究对象,共获取55347件长江经济带城市参与的城际绿色专利转让数据,其中包括22767件长江经济带区域内部城市间的绿色专利转让数据、32580件长江经济带区域内部城市与区域外部城市间的绿色专利转让数据(表1)。根据绿色技术流动的发展态势,将长江经济带城际绿色技术流动划分为4个阶段,分别是2001—2005年的孕育阶段、2006—2010年的起步增长阶段、2011—2015年的加速成长阶段和2016—2020年的快速发展阶段。

1.2 模型建构

当前,城市碳排放或碳减排研究已有诸多成熟的分析框架及模型^[26-28],如IPAT模型、STIRPAT模型、Kaya恒等式、环境库兹涅兹曲线(EKC)等(图1)。IPAT模型是最早用于分析人类发展与环境问题之间关系的模型,认为碳排放是人口规模(P)、富裕度(A)和技术水平(T)的函数。在此基础上,Dieta等^[29]又提出了IPAT的拓展形式STIRPAT模型,该模

表1 2001—2020年长江经济带绿色专利转让统计数据

Tab.1 Statistical data on green patent transfer in the Yangtze River Economic Belt during 2001–2020 (件)

年份	区域内部绿色专利转移量	区域内部城市与区域外部城市间的绿色专利转移量		总计
		从区域外部城市吸收的绿色专利量	向区域外部扩散的绿色专利量	
2001	0	3	3	6
2002	3	1	1	2
2003	2	0	0	0
2004	16	18	11	29
2005	8	14	27	41
2006	16	11	26	37
2007	39	65	37	102
2008	111	58	57	115
2009	114	155	101	256
2010	165	132	94	226
2011	305	237	223	460
2012	493	346	238	584
2013	943	623	669	1292
2014	1284	962	833	1795
2015	1432	951	1045	1996
2016	1473	975	1618	2593
2017	2241	1454	2752	4206
2018	2989	2272	2284	4556
2019	4269	3104	2512	5616
2020	6864	5650	3018	8668

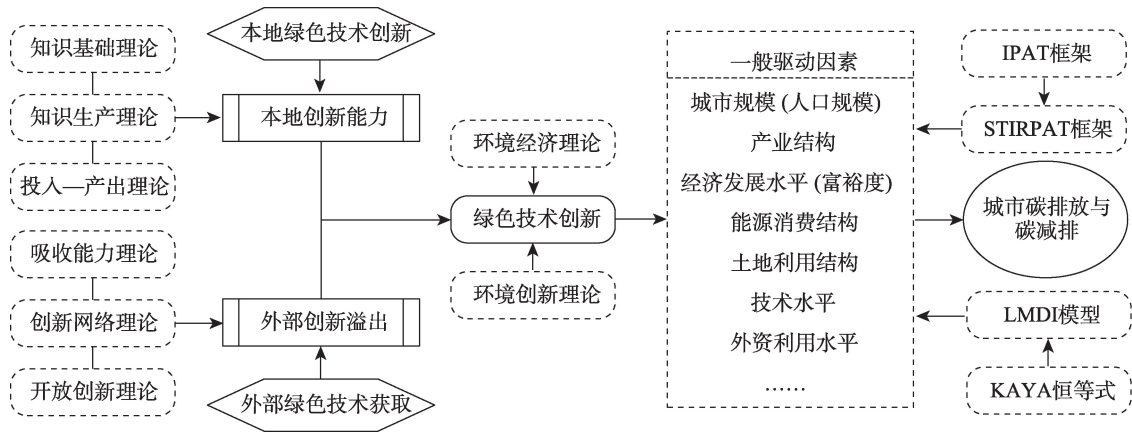


图1 碳排放影响因素研究分析框架

Fig.1 Analytical framework of research on factors influencing carbon emissions

型增加了城镇化水平、产业结构等其他社会经济要素,为剖析碳排放影响因素这一问题提供了方法支撑。指数分解模型(如LMDI)和结构分解模型也是分解碳排放变化量的重要理论模型,通常将碳排放分解为规模效应(人口、GDP、FDI等)、技术效应和结构效应^[30]。环境库兹涅兹曲线(EKC)理论提出以后,被广泛应用于分析经济发展水平与碳排放关系

的研究中,同样认为环境质量与经济增长之间的特殊关系是由规模效应、技术效应和结构效应共同决定^[31]。此外,随着计量经济学的长足发展,诸多计量经济模型(面板分位数回归、固定效应面板模型、空间面板模型等)也被应用于碳排放相关研究,从不同视角下探讨社会经济发展对碳排放的影响^[32-33]。目前,学界主流观点认为经济增长、人口增加、技术进

步是影响碳排放的三大核心要素^[30]。此外,产业结构^[34]、土地城镇化^[35]、资本投入^[36]、能源强度^[37]等也被证实是抑制或促进碳排放的因素。

近年来,在可持续发展框架下作为应对全球气候变化的核心支撑,绿色技术创新及绿色技术的跨境流动相关问题引起了学者们的广泛关注,众多学者从绿色技术创新的视角来解析技术进步对企业、城市碳排放的影响机制,从而将碳排放及碳减排研究分析框架拓展至以环境创新理论为代表的环境创新经济学视角(图1)。绿色技术创新是以降低环境污染、减少能源消耗和二氧化碳排放为目的的创新,与一般技术创新相比则更加考虑在环境保护上的效益。已有研究表明,绿色技术创新是解决环境污染问题的有效手段,能显著降低碳排放水平^[38-39]。同时,这些研究发现绿色技术创新的碳减排效应可分为直接和间接两种机制,一方面,绿色技术创新可以节约生产成本尤其是减少污染排放处理成本,提高绿色生产率;另一方面,绿色技术创新可以优化产业结构和能源消费结构,促进产业结构升级,从而实现减污降碳^[40-41]。也有研究认为,绿色技术创新的减排效果可能存在一个门槛效应,即当企业达到一定规模后或城市经济发展达到一定水平,或城市(企业)绿色技术创新能力达到一定水平后,绿色技术创新的碳减排效应才较为显著^[42]。

环境创新经济学理论认为,城市(企业)绿色技术创新能力的提升一方面依赖于自身的知识基础及研发投入,另一方面也来自于外部的创新溢出。现实情况也是如此,除北京、上海、深圳等在绿色技术创新水平上具有绝对优势的头部城市外,绝大多数城市都需要从其他城市获取绿色技术来补充本城绿色技术供给。就绿色技术流动来讲,存在技术扩散和技术集聚两个方向,即对城市而言,存在绿色技术扩散城市和绿色技术集聚城市两类。已有技术扩散溢出效应研究普遍揭示出,技术流动对扩散城市而言有促进经济增长、剥离冗余知识等方面的溢出效应,对受让城市而言也有优化本地创新、产业结构升级、促进经济增长等方面的溢出效应^[43]。本文以绿色专利转让(专利权属的变更)来测度绿色技术流动,因而对于扩散城市而言,绿色技术在扩散之前是作为扩散城市绿色技术存量来贡献于扩散城市的碳减排,但在扩散行为发生之后即专利权属发生变更之后,这项绿色技术将作为集聚城市绿色技术增量来贡献于集聚城市的碳减排。

综述之,借鉴当前城市碳排放研究分析框

架^[26-27],本文从集聚城市的视角,来研究城市从外部获取绿色技术对本地碳排放的影响,从而建构城市绿色技术流动减排效应分析的一般模型。模型如下:

$$\ln Y_{it} = \alpha + \beta_1 X_{it-2} + \beta_2 X_{it-2}^2 + \beta_3 \text{kno}_{it-2} + \beta_4 \text{kno}_{it-2}^2 + \beta_5 \text{pop}_{it} + \beta_6 \text{gdp}_{it} + \beta_7 \text{ins}_{it} + \beta_8 \text{pol}_{it} + \beta_9 \text{enc}_{it} + \beta_{10} \text{bui}_{it} + \beta_{11} \text{fdi}_{it} + \delta_{it} \quad (1)$$

式中: Y_{it} 代表城市*i*在第*t*年的二氧化碳排放量,借鉴吴建新等^[44]的计算方法,将电能、煤气和液化石油气、交通运输和热能消耗产生的碳排放相加后得到各个城市总的碳排放; X_{it-2} 是城市*i*在*t-2*年从其他城市获取的绿色专利量,同时考虑解释变量和被解释变量间可能存在非线性关系,加入二次项 X_{it-2}^2 ; kno_{it-2} 代表城市*i*在第*t-2*年的绿色专利申请量,来衡量城市的绿色技术创新能力。已有相关研究揭示出城市绿色技术创新能力对其碳减排存在倒“U”型作用机制^[45],因此模型中也加入二次项 kno_{it-2}^2 ; pop_{it} 代表城市*i*在第*t*年的年末常住人口数量,来衡量城市的规模; gdp_{it} 表示城市*i*在第*t*年的人均GDP,来衡量城市的经济发展水平; ins_{it} 表示城市*i*在第*t*年的第二产业产值,来衡量城市的产业结构; pol_{it} 表示城市*i*在第*t*年的环境污染水平,来衡量城市的环境状况。借鉴董直庆等^[39]的研究,本文采用工业废水排放量、工业二氧化硫排放量和工业烟(粉)尘排放量计算出环境污染指数来衡量城市环境污染水平; enc_{it} 表示城市*i*在第*t*年的煤炭消耗量,来衡量城市的能源消费结构; bui_{it} 代表城市*i*在第*t*年的建成区面积,来衡量城市的土地利用结构; fdi_{it} 表示城市*i*在第*t*年吸收的外商直接投资规模,来衡量城市的外资利用水平; α 表示常数项, $\beta_j(j=1, 2, \dots, 11)$ 为回归系数, δ_{it} 为随机误差项。同时,在回归模型中采取多期滞后回归比较,发现核心解释变量滞后2期效果最佳,具体来说,被解释变量在*t*年测量,核心解释变量在*t-2*年测量。表2列出本文的被解释变量和解释变量详情,进行多重共线性检验发现,变量间的方差膨胀因子(VIF)的最大值为8.72,均值为4.22,低于10这一警戒值,说明不存在严重的共线性问题。

2 长江经济带城际绿色技术流动的时空特征

2.1 域内绿色技术流动

2001—2020年,长江经济带域内参与绿色技术

表2 变量解释
Tab.2 Definition of variables

变量名称	变量符号	变量解释
碳排放水平	Y	城市 i 在第 t 年二氧化碳排放量
绿色技术集聚能力	X_{it-2}	城市 i 在第 $t-2$ 年从其他城市获取的绿色专利量
绿色技术创新能力	kno_{it-2}	城市 i 在第 $t-2$ 年的绿色专利申请量
人口规模	pop_{it}	城市 i 在第 t 年的年末常住人口数量
经济发展水平	gdp_{it}	城市 i 在第 t 年的人均 GDP
产业结构	ins_{it}	城市 i 在第 t 年的第二产业产值
环境污染	pol_{it}	城市 i 在第 t 年的环境污染水平,采用工业废水排放量、工业二氧化硫排放量和工业烟(粉)尘排放量计算出环境污染指数来衡量
能源消耗	enc_{it}	城市 i 在第 t 年的煤炭消耗量
土地利用结构	bui_{it}	城市 i 在第 t 年的建成区面积
外资利用水平	fdi_{it}	城市 i 在第 t 年吸收的外商直接投资规模

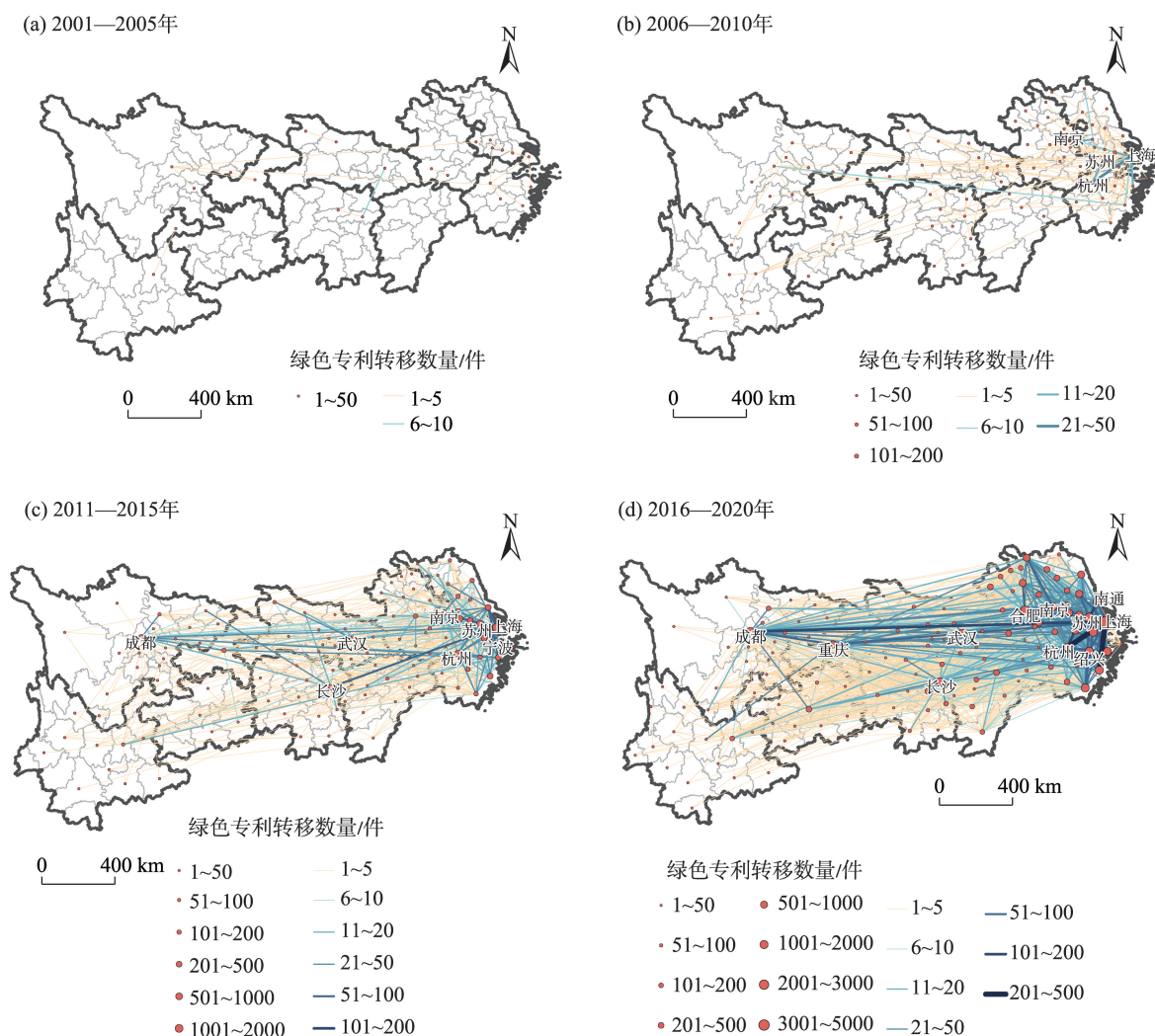
流动的城市数量由第一阶段的23个增加至第四阶段的129个,流动的绿色技术数量也由29件增加至17836件。20年间,长江经济带域内绿色技术流动主要由长三角地区主导,绿色技术跨区域流动不畅,跨区域绿色技术扩散经历着“随机流动→向长三角集聚→混流型”的发展路径(图2),具体来看:

(1) 长三角地区主导长江经济带域内绿色技术流动。长江经济带域内绿色技术流动除在第一阶段表现出空间分散性以外,在其后的3个时间段里皆表现出强劲的空间集聚性,高度集中在以上海、苏州、杭州为代表的长三角地区。2001—2005年,长江经济带域内绿色技术流动零星分布在少数几个城市,并未成网。虽然在绿色技术流动量上长沙以扩散7件绿色技术位居第一,在绿色集聚量上武汉以吸收6件绿色技术位居第一,但参与域内绿色技术流动的23个城市中有12个来自长三角地区。2006—2010年,长江经济带域内绿色技术流动率先在长三角地区内部结网发展,流动的445件绿色技术中有338件绿色技术流动行为发生在长三角地区内部。同时长三角地区也主导着长江经济带域内跨区域(上游、中游与下游长三角地区两两之间)绿色技术流动,在31对跨地区技术流动关系中,有长三角城市参与的达到27对。在随后的两个阶段里,长三角地区主导长江经济带域内绿色技术流动的特征不断强化,如2016—2020年,流动的17836件绿色技术中有11858件绿色技术流动行为发生于长三角地区内部,在1318对跨地区技术流动关系中,有长三角城市参与的达到1194对。同时也可观察到长江经济带中游和上游地区城市,尤其是成都、武汉、重庆、长沙、贵阳等城市在网络中的地位大幅

提升。

(2) 绿色技术跨区域流动不畅通的特征依然显著。从长江经济带上游、中游和下游(长三角)区域间的绿色技术扩散来看,长江经济带城际绿色技术扩散多发生于区域内部,跨区域技术扩散虽快速增长,但依然流动不畅,转移数量多的关系对多集中在长三角内部,4个阶段中,转移数量前20的关系对中均有一半以上为长三角内部转移(表3)。2001—2005年,在20对城际绿色技术扩散关系中,仅2对(成都→宁波、南京→成都)发生在上游和长三角地区的跨区域之间。2006—2010年,在163对城际绿色技术流动关系对中,仅46对为跨区域技术流动,在技术扩散量上,跨区域绿色技术扩散量占比仅有17.5%。2011—2015年,虽然跨区域绿色技术扩散迅速增长,但长江经济带绿色技术流动依然大多发生在区域内部,在841对城际绿色技术流动关系对中,369对为跨地区技术流动,跨区域绿色技术流动量占比为27.5%,涉及1225件绿色技术。至2016—2020年,虽然跨区域绿色技术流动关系对占长江经济带城际绿色技术流动关系对整体的比重超过一半,达到58.8%,但涉及的绿色技术量仍较少,跨区域绿色技术流动量占整体的比重也仅有37.4%,这说明虽然长江经济带绿色技术跨区域流动有了较大发展,但流动不畅通的特征依然显著。

(3) 跨区域绿色技术流动在方向上经历着“随机流动→向长三角集聚→混流型”的发展路径。长江经济带域内绿色技术流动除在第一阶段表现出随机性外,在其后3个阶段皆表现出一定的指向性特征。2006—2010年,长江经济带域内46对跨地



注:节点大小代表城市转移总量,边粗细代表两个节点之间的转移数量。转移量越多,节点越大、边越粗。

图2 2001—2020年4个时段长江经济带域内绿色技术扩散格局演化

Fig.2 Spatial evolution of green technology diffusion in the Yangtze River Economic Belt during 2001–2020

区绿色技术流动关系中有29对为长三角地区城市从中游、上游地区吸收绿色技术,即长江经济带域内跨区域绿色技术流动在方向上多表现为由上游和上游地区向长三角集聚。2011—2015年和2016—2020年这两个阶段,长江经济带域内跨区域绿色技术扩散由上一阶段的“向长三角集聚”发展为“长三角向中游、上游地区扩散和中游、上游地区向长三角集聚”并重,即长三角地区在长江经济带域内跨区域绿色技术流动中充当“消费者”角色的基础上也开始承担“供给者”的作用。例如在2011—2015年,长江经济带中游和上游地区分别从长三角集聚了397件和179件绿色专利,而长三角也分别从中游和上游地区集聚了326件和196件绿色专利;2016—2020年,中游和上游地区从长三角

共转入了3125件绿色技术,而长三角则从中游和上游地区转入了2917件绿色技术。

2.2 域外绿色技术转让

2001—2020年,长江经济带与域外发生的绿色技术转让量从第一阶段的78件增长到第四阶段的25639件,几乎所有城市都参与进技术流动中。20年间,同长江经济带域内绿色技术流动相同,长三角地区仍是长江经济带域外绿色技术流动的先导区,既是域外向长江经济带扩散绿色技术的门户,也是长江经济带向域外扩散绿色技术的主供应商。从绿色技术的创新主体来看,企业是中国绿色技术的主要出让者,也是集成吸纳者。因此,由于中国高速增持的房地产经济和新能源产业对绿色建筑技术和清洁能源技术的需求持续增大,这

表3 2001—2020年长江经济带内部城际绿色技术转移前20关系对

Tab.3 Top 20 relationship pairs of intercity green technology transfer within the Yangtze River Economic Belt during 2001—2020

位序	2001—2005年		2006—2010年		2011—2015年		2016—2020年	
	转移关系	数量	转移关系	数量	转移关系	数量	转移关系	数量
1	长沙→武汉	6	上海→杭州	24	上海→苏州	120	上海→苏州	266
2	安庆→池州	3	镇江→南京	20	苏州→上海	83	上海→杭州	245
3	成都→重庆	2	上海→苏州	19	长沙→上海	66	上海→台州	203
4	上海→杭州	2	宁波→上海	14	上海→嘉兴	60	苏州→上海	198
5	无锡→镇江	1	杭州→湖州	11	南京→苏州	60	成都→上海	156
6	昆明→昭通	1	南京→上海	10	无锡→上海	58	上海→嘉兴	155
7	长沙→益阳	1	上海→湖州	9	宁波→南通	51	杭州→湖州	150
8	十堰→襄阳	1	上海→嘉兴	9	上海→南通	51	苏州→南通	108
9	南京→上海	1	上海→宁波	9	成都→绵阳	49	上海→南通	99
10	宁波→上海	1	成都→台州	8	武汉→十堰	48	杭州→上海	98
11	苏州→上海	1	杭州→金华	7	杭州→苏州	40	杭州→嘉兴	97
12	成都→宁波	1	嘉兴→上海	7	芜湖→扬州	40	合肥→蚌埠	96
13	上海→宁波	1	上海→台州	7	嘉兴→台州	39	苏州→南京	91
14	杭州→金华	1	常州→无锡	7	南京→常州	37	南京→常州	86
15	台州→杭州	1	常州→连云港	6	淮安→南通	37	绍兴→上海	84
16	重庆→广安	1	上海→无锡	6	上海→盐城	37	温州→上海	84
17	南京→成都	1	南京→常州	5	常州→南通	36	南京→苏州	83
18	内江→成都	1	杭州→嘉兴	5	杭州→上海	36	上海→湖州	81
19	杭州→常州	1	杭州→南京	5	南京→无锡	33	苏州→温州	79
20	镇江→无锡	1	杭州→上海	5	无锡→南通	31	杭州→绍兴	77

两类技术成为了最受市场欢迎的技术,在城市间的流动最多。而中国的房地产行业代表性企业和新能源行业代表性企业上海(绿地控股、航天机电等)、江苏(新城控股、爱康科技等)、浙江(绿城地产、横店东磁等)广泛分布,长三角从而成为绿色技术流动活动的高度集聚地。从域外来看,京津和珠三角地区既是长江经济带绿色技术的主要需求地,也是向长江经济带提供绿色技术的主要来源地,具体来看:

(1) 长三角地区是长江经济带与域外进行绿色技术流动的门户。20年间,以上海、苏州、杭州、南京等城市为代表的长三角地区不仅是长江经济带绿色技术流出至域外的主要来源地,也是长江经济带从域外集聚绿色技术的主要需求地。第一阶段后,无论是技术集聚还是技术扩散,转移量前20的城市中一半以上由长三角地区城市占据,且占比逐渐上升(表4、表5)。在向域外扩散上,2001—2005年,长江经济带向域外扩散绿色技术的城市虽均匀分布,但在扩散量上高度集中在上海这一城市,上

海的扩散量占总扩散量的50%。2006—2010年,长江经济带扩散出的315件绿色专利中有174件来自长三角地区,其中上海向域外扩散绿色技术63件。除上海外,长三角地区其他城市的域外绿色技术供给能力也大幅提升。在随后的两个阶段里,长三角地区不断强化其对外的技术服务功能,扩散至域外的绿色技术占长江经济带的整体比重近70%。长江经济带中、上游城市的对外服务供给能力也不断提升,如2016—2020年,上游的成都向域外扩散了984件绿色技术,位居第二,重庆、武汉、长沙等城市也位居前列。在域外绿色技术获取上,2001—2005年,从域外转入绿色技术的城市全部位于长三角地区,上海是吸收域外绿色技术的主要城市,从域外转入的36件绿色专利中有21件转入上海。2006—2010年,长三角地区依然是对外绿色技术需求的主要集聚地,转入的421件绿色专利中有273件转入长三角地区,占比为64.8%,上海、南京是转入绿色技术数量的前两位。随后两个阶段,长三角地区的集聚能力维持稳定,集聚量占长江经济带整体比重

表4 2001—2020年长江经济带向域外扩散绿色技术前20城市和域外集聚绿色技术量前20城市

Tab.4 Top 20 cities in the Yangtze River Economic Belt for cross-regional diffusion of green technologies and top 20 cities for cross-regional agglomeration of green technologies during 2001–2020 (件)

位序	2001—2005年				2006—2010年				2011—2015年				2016—2020年			
	扩散方	数量	受让方	数量	扩散方	数量	受让方	数量	扩散方	数量	受让方	数量	扩散方	数量	受让方	数量
1	上海	21	北京	23	上海	63	北京	85	上海	379	北京	963	绍兴	1161	深圳	1679
2	南京	7	深圳	9	长沙	23	深圳	39	成都	258	深圳	662	成都	984	广州	1660
3	长沙	3	广州	4	成都	20	广州	23	苏州	245	广州	163	上海	933	北京	1474
4	成都	2	清远	1	南京	18	大连	13	宁波	228	东莞	115	苏州	725	佛山	605
5	吉安	2	天津	1	无锡	16	东莞	13	杭州	196	佛山	110	宁波	628	中山	480
6	无锡	2	烟台	1	杭州	14	潮州	13	南京	129	天津	67	温州	584	天津	402
7	武汉	2	拉萨	1	舟山	13	天津	12	无锡	112	青岛	57	南京	573	东莞	383
8	合肥	1	郑州	1	贵阳	12	佛山	12	武汉	92	西安	43	杭州	542	青岛	258
9	重庆	1	呼伦贝尔	1	武汉	12	长春	10	重庆	86	厦门	41	重庆	405	泉州	258
10	自贡	1	—	—	南通	10	青岛	9	温州	63	中山	40	无锡	369	厦门	216
11	—	—	—	—	湖州	9	福州	7	金华	61	济南	38	合肥	358	福州	160
12	—	—	—	—	苏州	9	威海	7	常州	60	郑州	35	武汉	316	珠海	160
13	—	—	—	—	岳阳	8	乌鲁木齐	4	宜春	57	哈尔滨	29	湖州	273	江门	152
14	—	—	—	—	重庆	8	南阳	4	绍兴	53	福州	29	台州	255	唐山	150
15	—	—	—	—	常州	7	兰州	4	南通	52	大连	21	常州	235	郑州	149
16	—	—	—	—	达州	6	拉萨	3	长沙	50	沧州	20	长沙	192	西安	131
17	—	—	—	—	昆明	5	太原	3	合肥	46	泉州	19	芜湖	175	济南	115
18	—	—	—	—	合肥	4	沈阳	3	芜湖	46	乌鲁木齐	19	嘉兴	172	菏泽	110
19	—	—	—	—	金华	4	哈尔滨	3	嘉兴	43	石家庄	19	金华	165	太原	105
20	—	—	—	—	景德镇	4	齐齐哈尔	3	台州	42	太原	17	镇江	160	廊坊	102

均在64%左右,其中上海、杭州、苏州等城市一直的技术集聚量一直位居前列。另外,中上游地区的成都、武汉、重庆、宜春、长沙等城市的集聚能力也在不断增强,转入技术量均位居前列。

(2) 京津和珠三角地区是长江经济带域外绿色技术扩散的两大枢纽地区。20年间,以北京、天津为代表的京津地区和以广州、深圳、东莞、佛山为代表的珠三角地区既从长江经济带获取了大量绿色技术,也向长江经济带供给了大量绿色技术。第二阶段后,在技术集聚和技术扩散上,转移量前20的城市中有近一半来自京津冀与珠三角地区,且占比逐渐上升(表4、表5)。在获取绿色技术上,2001—2005年,从长江经济带获取绿色技术的域外城市虽也零星分布在多个地区,但在吸收量上,高度集中于北京、深圳、广州等城市。2006—2010年,域外技术转入依然高度集聚在北京、深圳和广州等城市,这三个城市从长江经济带获取的绿色专利占整体的比重达到46.7%。在2011—2015年和2016—2020年这两个阶段,以北京、天津为代表京津地区

和以深圳、广州、东莞、佛山为代表的珠三角地区继续强化其技术集聚功能,这6个城市从长江经济带获取的绿色专利占到整体的69.2%和50.9%。同时,海峡西岸城市群的泉州、厦门和福州等城市也加大了从长江经济带获取绿色技术的力度,在第四阶段中,这3个城市从长江经济带获取的绿色技术量均位居前15名。绿色技术供给上,2001—2005年,北京是长江经济带域外绿色技术的主要供给者,提供了14件绿色专利,西安是第二大域外绿色技术供给者,供给了7件绿色专利。第二阶段,北京依然是长江经济带域外绿色技术的第一大供给者,提供了123件绿色专利;深圳成为长江经济带第二大域外绿色技术供给者,供给了95件绿色专利。随后两个阶段,京津地区和珠三角城市群的供给能力不断增强,北京、深圳、广州的供给能力一直位居前3名。此外,以泉州、福州为代表的海峡西岸城市群和以青岛、济南为代表的山东半岛城市群的供给能力也逐渐提升,这几个城市的供给量均在前15名以内。

表5 2001—2020年长江经济带从域外集聚绿色技术前20城市和域外扩散绿色技术量前20城市

Tab.5 Top 20 cities in the Yangtze River Economic Belt in terms of cross-regional agglomeration of green technologies and cross-regional diffusion of green technologies during 2001–2020 (件)

位序	2001—2005年				2006—2010年				2011—2015年				2016—2020年			
	扩散方	数量	受让方	数量	扩散方	数量	受让方	数量	扩散方	数量	受让方	数量	扩散方	数量	受让方	数量
1	北京	14	上海	21	北京	123	上海	96	北京	883	上海	391	北京	2260	杭州	1145
2	西安	7	杭州	6	深圳	95	成都	46	深圳	636	南通	324	深圳	2127	上海	1040
3	广州	4	苏州	4	咸阳	31	南京	46	广州	206	成都	210	广州	1602	苏州	1011
4	天津	4	金华	2	广州	17	苏州	33	东莞	192	苏州	184	泉州	788	南京	731
5	包头	2	宁波	2	沈阳	17	绵阳	31	泉州	120	无锡	148	东莞	462	南通	582
6	兰州	1	镇江	1	东莞	14	无锡	22	佛山	93	常州	140	佛山	409	嘉兴	523
7	揭阳	1	—	—	厦门	12	武汉	15	西安	83	杭州	118	天津	404	重庆	472
8	深圳	1	—	—	西安	11	常州	10	青岛	71	武汉	118	郑州	390	徐州	435
9	秦皇岛	1	—	—	天津	8	昆明	10	济南	56	重庆	95	青岛	372	泰州	371
10	哈尔滨	1	—	—	郑州	8	南通	9	中山	50	宜春	89	西安	264	常州	364
11	—	—	—	—	中山	8	宁波	9	长春	49	南京	88	中山	245	合肥	308
12	—	—	—	—	济南	7	合肥	8	大连	47	宁波	81	福州	215	成都	306
13	—	—	—	—	烟台	6	重庆	7	天津	43	温州	55	济南	206	宁波	305
14	—	—	—	—	石家庄	5	达州	6	石家庄	40	长沙	55	沈阳	175	无锡	289
15	—	—	—	—	乌鲁木齐	4	长沙	6	沈阳	35	合肥	53	惠州	172	绍兴	264
16	—	—	—	—	长春	4	杭州	5	江门	32	芜湖	48	哈尔滨	152	温州	260
17	—	—	—	—	保定	3	盐城	5	珠海	29	南昌	46	保定	130	武汉	260
18	—	—	—	—	佛山	3	泰州	4	烟台	29	淮安	39	南宁	127	扬州	245
19	—	—	—	—	珠海	3	温州	4	厦门	23	贵阳	37	厦门	122	台州	243
20	—	—	—	—	韶关	2	宜昌	4	福州	23	金华	34	石家庄	96	蚌埠	225

3 城际绿色技术流动的减排效应验证

3.1 基准回归分析

基于Husman检验,本文采用固定效应模型对式(1)进行回归估计,城际绿色技术流动减排效应回归结果如表6所示。本文先将城市从外部获取绿色技术量这一核心解释变量纳入回归模型,在控制其他可能影响城市碳排放水平的变量及时间和个体效应后,城市从外部获取绿色技术量的一次项系数为正,二次项系数为负,均通过1%的显著性水平检验。加入其他控制变量后,回归系数符号不变,同样通过1%的显著性水平检验,表明在集聚城市视角下,城际绿色技术流动与城市碳排放水平存在显著的倒“U”型关系,即城市从外部获取绿色技术带来的本地减排效应存在规模门槛效应,即城市从外部获取的绿色技术达到一定规模后才能实现本地碳减排。

从其他城市获取绿色技术的过程即是城市获取外部知识的过程。吸收能力理论认为,城市或区域获取外部知识的过程存在获取、吸纳、转化和开

表6 基准回归模型结果

Tab.6 Regression results

变量	模型1	模型2
X	2.764*** (0.361)	0.845*** (0.195)
X^2	-2.531*** (0.421)	-0.816*** (0.217)
kno_{it-2}	—	2.469*** (0.416)
kno_{it-2}^2	—	-2.698*** (0.559)
pop_{it}	—	1.297 (0.664)
gdp_{it}	—	0.898*** (0.108)
ins_{it}	—	0.804*** (0.078)
pol_{it}	—	-0.0045 (0.0053)
ene_{it}	—	1.896*** (0.167)
bui_{it}	—	1.207*** (0.333)
fdi_{it}	—	-0.496** (0.170)
常数项	5.776*** (0.0123)	4.706*** (0.102)
N	1560	1560

注: *、**、***分别表示 $P < 0.1$ 、 $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$;括号内数值为标准误;“—”表示在模型中未纳入相应变量,为空值。下同。

发利用等不同阶段,而在整个过程中,城市或区域首先需要具备识别外部知识中关键信息或技术的能力,其次需要具备理解这一关键技术的能力,最后需要具备能够将这一外部知识与内部已有知识

进行整合,并运用、开发和利用的能力^[46-47]。城市外部知识吸收能力可以从其获取的外部绿色技术规模来反映,其获取的绿色技术规模越小,说明其吸收能力越弱,进而表明其在获取外部绿色技术的过程中,需同步提升城市的技术水平,这就需要城市增加研发投入或付出相应的学习成本,也需要改变当前生产环境(引进设备、增加投资)以适应这一新引进的技术,进而增加了城市的碳排放水平^[48]。城市获取的绿色技术规模越大,说明其吸收能力越强,即城市对从外部获取的绿色技术加以吸纳、转化和开发利用的能力较高,那么这些绿色技术的碳减排效应就会迅速展现^[49]。同时,城际绿色技术流动推动技术要素在跨区域市场中的流动,为区域尺度的绿色技术创新能力的整体提升和产业结构转型升级快速提供助力,从而实现更大尺度更大范围的碳减排目标^[50]。另外,从其他城市获取绿色技术的这一投资行为,与其他投资(如直接引进成熟的减排设备)相比,其环境友好效应本身就依赖于一定的知识基础^[48]。

其余控制变量中,绿色技术创新能力一次项的系数为正,二次项系数为负,均通过1%的显著性水平检验,表明绿色创新能力与碳排放水平同样存在着显著的倒“U”型关系,即城市绿色技术创新对城市碳减排的影响也存在规模门槛效应,只有当城市绿色技术创新能力达到一定水平后才会实现城市碳减排效应,这与以往的研究结论相同^[51]。第二,经济发展水平的回归系数为正且通过1%的显著性水平检验。经济增长是国民生存与国家发展的必要条件,中国作为能源消费大国,能源是维持经济系统运行的一项基本投入。长江经济带是中国经济发展的先行者,虽然正向绿色发展转型,但目前长江经济带的能源消费仍然以煤炭为主。因此,经济发展必然会引起碳排放量的增加。第三,产业结构的回归系数显著为正,表明第二产业占比的提升会促进城市碳排放增多。第二产业产值规模反映了地区工业产业的发达程度,在不同的行业中,工业的能源消耗最大,第二产业产值占比的变化直接影响能源消耗碳排放的变化^[52]。因此,优化产业结构,促进绿色产业发展是减少碳排放的重要手段。第四,能源消耗的回归系数显著为正,煤炭消费会增加城市碳排放。煤炭燃烧过程中会释放大量二氧化碳,作为化工原料时,同样会释放较多二氧化碳,因此这一结果与现实相符。第五,土地利用结

构的回归系数显著为正。建成区面积扩大会带来人口和经济活动的进一步集聚,这也对交通、住房及各类生活设施提出了更高需求^[35],同时,城市用地类型也会发生变化,绿地减少,建筑用地增加,这些变化必然导致碳排放量的增加,这与以往的研究结论相同^[53]。最后,外商直接投资的回归系数显著为负,表明外商直接投资能减少城市碳排放,验证了污染光环假说。中国吸引外资的环境标准较为严格,FDI增加不仅为区域带来先进的设备和清洁技术,也带来了更为先进的管理方式和经营理念,通过溢出效应和示范效应促进了长江经济带产业结构的升级,实现了资源和要素的节约,减少二氧化碳的排放^[54]。

3.2 稳健性检验

为进一步检验绿色技术流动与碳排放的非线性关系,将长江经济城市从外部获取绿色技术拆分为两部分:一是从域内其他城市获取的绿色技术;二是从域外其他城市获取绿色技术。继而进行回归分析,以此来进行验证模型的稳健性,结果如表7所示。模型3和模型4展示了长江经济带城市从域内获取绿色技术对城市碳排放的影响,拟合优度 R^2 分别为0.3078、0.7584。模型5和模型6展示了长江经济带城市从域外获取绿色技术对城市碳排放的影响,拟合优度 R^2 分别为0.3840、0.7751。模型3~6中,绿色技术流动的一次项系数均为正、二次项系数均为负,且都通过了1%的显著性检验,证实了城际绿色技术流动与碳排放之间的倒“U”型关系,验证了前述结果的稳健性。

再者,通过改变绿色技术扩散影响城市碳排放水平的时间考察窗口,将核心解释变量城市从外部获取绿色技术及其二次项改为滞后1期和滞后3期,进一步验证模型的稳健性。表7中模型7和模型8为核心变量滞后1期的结果,模型9和模型10为滞后3期的结果。两种稳健性检验方法中,城市从外部获取绿色技术量的一次项系数均为正、二次项系数均为负,同样也通过了1%的显著性水平检验,与上述基准回归结果一致,进一步验证了上述结论。

4 结论与讨论

4.1 结论

随着中国经济进入结构转型期,绿色技术创新作为创新驱动和绿色发展的融合点,其协同开发和

表7 稳健性检验结果
Tab.7 Results of robustness test

变量	从域内其他城市获取绿色技术		从域外其他城市获取绿色技术		滞后1期		滞后3期	
	模型3	模型4	模型5	模型6	模型7	模型8	模型9	模型10
X	1.993*** (0.179)	0.824*** (0.169)	2.032*** (0.187)	0.596*** (0.174)	2.679*** (0.203)	0.726*** (0.192)	2.527*** (0.211)	0.786*** (0.199)
X^2	-1.893*** (0.209)	-0.832*** (0.193)	-1.842*** (0.213)	-0.622*** (0.190)	-2.354*** (0.242)	-0.768*** (0.217)	-2.364*** (0.244)	-0.730*** (0.221)
kno_{it-2}	—	2.826*** (0.421)	—	3.425*** (0.395)	—	2.682*** (0.408)	—	2.620*** (0.410)
kno^2_{it-2}	—	-3.194*** (0.572)	—	-3.638*** (0.548)	—	-2.893*** (0.555)	—	-2.865*** (0.557)
pop_{it}	—	0.994 (0.715)	—	0.938 (1.061)	—	1.286 (0.665)	—	1.331* (0.665)
gdp_{it}	—	1.154*** (0.108)	—	0.888*** (0.111)	—	0.912*** (0.107)	—	0.865*** (0.110)
ins_{it}	—	0.144* (0.070)	—	0.367*** (0.068)	—	0.783*** (0.079)	—	0.821*** (0.078)
pol_{it}	—	0.0005 (0.0066)	—	0.0065 (0.0066)	—	-0.0055 (0.0053)	—	-0.0049 (0.0053)
ene_{it}	—	2.014*** (0.173)	—	1.855*** (0.162)	—	1.849*** (0.168)	—	1.920*** (0.166)
bui_{it}	—	0.893** (0.335)	—	1.106*** (0.321)	—	1.258*** (0.334)	—	1.358*** (0.332)
fdi_{it}	—	-0.240 (0.177)	—	-0.352* (0.168)	—	-0.532*** (0.170)	—	-0.501** (0.170)
常数项	5.885*** (0.011)	5.111*** (0.113)	5.929*** (0.011)	5.069*** (0.158)	5.764*** (0.0115)	4.708*** (0.103)	5.796*** (0.0107)	4.684*** (0.102)
N	1485	1485	1350	1350	1560	1560	1560	1560

共享不仅是应对气候变化的关键举措,也是中国实现经济高质量发展和区域绿色技术协同创新的基石。本文以绿色专利转让刻画绿色技术流动,从域内和域外两个视角分析了2001—2020年长江经济带城际绿色技术流动的时空特征,并从集聚城市视角探讨了绿色技术流动带来的碳减排效应,得出以下结论:

(1) 2001—2020年,长江经济带域内绿色技术流动网络规模逐渐扩大,长三角地区持续主导网络的发展演化,呈现出由点状散布连接经长三角结网集聚向区际扩散发展的格局,经历了“随机流动→向长三角集聚→混流型”的发展路径。从城际联系上看,跨区域技术转移逐渐成为新趋势,但城际创新联系强度仍存在空间异质性,长三角地区城际联系强度高,中上游地区逐渐降低。

(2) 2001—2020年,在长江经济带—全国绿色

技术流动网络中,长三角地区的上海、杭州、苏州、南京等城市和长江经济带上游的成都、重庆是长江经济带与其他区域进行绿色技术转移的依托地。京津地区和珠三角城市群在长江经济带域外绿色技术转移活动中,既扮演着技术“购买者”的角色,也扮演了技术“供给者”的角色。因此,长江经济带—全国绿色技术扩散网络在空间上呈现出以长三角、京津、珠三角、成渝地区为核心节点的“菱形”格局。

(3) 绿色技术流动与城市碳排放存在显著的倒“U”型关系。城市从外部获取的绿色技术规模代表了其知识吸收能力,吸收的绿色技术规模越小,说明吸收能力越弱。这类城市在集聚绿色技术的过程中,需同步提升城市的技术水平,这增加了城市的研发投入及转化知识的学习成本,进而增加了城市碳排放水平。而绿色技术集聚量大的城市知识

吸收能力强,这类城市通常有良好的知识创新基础,能迅速将知识吸收、转化及应用,从而实现了城市碳减排。本文还通过替换被解释变量和改变时间窗口两种方法来验证模型结果的稳健性,结果也佐证了二者之间的倒“U”型关系。

4.2 讨论

本文虽然以绿色专利转让衡量绿色技术流动,从域内和域外两个视角对长江经济带绿色技术流动的时空特征进行了初步研究,并从绿色技术集聚视角探究了绿色技术流动对城市碳排放的影响,但依然存在诸多尚待改进的地方:

(1) 本文依照以往研究惯例利用绿色技术转让来刻画绿色技术扩散,但实际上专利转让只代表专利权属的转让,并不代表专利得到了成果转化并进行市场开发。同时,绿色技术扩散的形式和途径多种多样。除绿色专利外,寻找兼具经济价值和具有可获取性的多种指标来分析城市绿色技术扩散并进行对比是下一步需要攻克的方向。

(2) 本文虽然依据以往研究将绿色技术划分为清洁能源技术、温室气体处理技术、绿色交通技术、绿色建筑技术、环境治理技术和绿色水技术,但并未分析不同类别技术集聚的减排效应。实际上,以往研究也认为绿色技术的减排效应包括直接效应和间接效应,而这正是由绿色技术的类别所决定。所以,不同类别绿色技术集聚的减排效应可能也存在一定差异。因此,对不同类别绿色技术集聚的减排效应进行异质性分析,并提出更具有针对性的建议与减排措施是未来需要研究的问题。

(3) 本文利用实证模型探究了长江经济带城市绿色技术扩散与碳排放水平之间的非线性关系,但回归结果代表的是所有城市在研究时段内的平均边际效应。实际上,有关环境保护、绿色发展等重大政策的发布可能会影响城市绿色技术外部获取的能力,因此研究时段的选取可能会影响结论的稳健性。此外,从数据结构来看,直辖市、省会城市、副省级城市(除省会城市)、一般城市间的绿色技术外部获取能力是依次降低的,因而城市的行政等级可能也会影响绿色技术外部获取的减排效应。因而,探讨政策实施和不同城市行政等级对绿色技术集聚的碳减排效应的影响也是下一步需要研究的问题。

(4) 挖掘长江经济带绿色技术流动的时空特征,并从集聚城市的视角探究绿色技术流动的碳减

排效应,是建立健全全国性绿色技术交易市场和理解绿色技术流动的绿色发展效应的基石。基于本文实证研究,为促进长江经济带绿色技术城际流动更好地发挥其绿色效应,提出以下两点建议:① 长江经济带域内绿色技术流动的创新联系强度存在显著的空间异质性。为此,以长三角生态绿色一体化建设为引领,打破行政壁垒,健全绿色技术市场化配置体系,加速绿色技术的跨省、跨区域流动;② 得益于众多绿色技术创新龙头企业,长三角地区是长江经济带与域外进行绿色技术流动的门户。为此,长江经济带其他区域要强化企业在绿色技术创新及扩散中的主体地位,加快培育、发展一批绿色技术创新龙头企业及转移转化示范性企业,从而带动长江经济带绿色技术创新协调发展。

参考文献(References)

- [1] Du K R, Cheng Y Y, Yao X. Environmental regulation, green technology innovation, and industrial structure upgrading: The road to the green transformation of Chinese cities [J]. *Energy Economics*, 2021, 98: 105247. doi: 10.1016/j.eneco.2021.105247.
- [2] World Intellectual Property Organization (WIPO). World intellectual property report 2019: The geography of innovation: local hotspots, global networks [R/OL]. 2019-11-12 [2023-04-23]. https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_944_2019.pdf.
- [3] 段德忠, 杜德斌. 中国城市绿色技术创新的时空分布特征及影响因素 [J]. *地理学报*, 2022, 77(12): 3125-3145. [Duan Dezhong, Du Debin. Green technology innovation in China city system: Dynamics and determinants. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(12): 3125-3145.]
- [4] Brant J. Green technology diffusion: Insights from industry [J]. *WIPO Magazine*, 2014, 1: 6-11.
- [5] Glachant M, Dussaux D, Mènière Y, et al. Greening global value chains: Innovation and the international diffusion of technologies and knowledge [J]. *OECD Green Growth Papers*, 2013(5). doi: 10.1787/22260935.
- [6] Mansfield E. Technical change and the rate of imitation [J]. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1961, 29(4): 741-766.
- [7] Bass F M. A new product growth for model consumer durables [J]. *Management Science*, 1969, 15(5): 215-227.
- [8] 曹霞, 张路蓬. 企业绿色技术创新扩散的演化博弈分析 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(7): 68-76. [Cao Xia, Zhang Lupeng. Evolutionary game analysis of the

- diffusion of green technological innovation of enterprises. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25 (7): 68-76.]
- [9] 于丽静, 陈忠全. 基于演化博弈的物流企业绿色创新扩散机制研究 [J]. 运筹与管理, 2018, 27(12): 193-199. [Yu Lijing, Chen Zhongquan. Research on the green innovation diffusion mechanism of logistics enterprises based on evolutionary game. *Operations Research and Management Science*, 2018, 27(12): 193-199.]
- [10] 童昕, 陈天鸣. 全球环境管制与绿色创新扩散: 深圳、东莞电子制造企业调查 [J]. 中国软科学, 2007(9): 69-76. [Tong Xin, Chen Tianming. Global environmental regulations and diffusion of green innovation: Survey on the impacts of EU directives on electronics manufacturers in Shenzhen and Dongguan. *China Soft Science*, 2007(9): 69-76.]
- [11] 冯忠垒, 王波波, 谢雄标, 等. 专业虚拟社区情境下的绿色技术扩散网络研究 [J]. 科技管理研究, 2018, 38(18): 256-260. [Feng Zhonglei, Wang Bobo, Xie Xiongbiao, et al. Research on the diffusion network of green technology in the context of professional virtual community. *Science and Technology Management Research*, 2018, 38 (18): 256-260.]
- [12] 杨国忠, 虢琴. 基于多智能体模型的绿色技术创新扩散影响因素研究 [J]. 工业技术经济, 2017, 36(8): 43-50. [Yang Guozhong, Guo Qin. Research on the influencing factors of green technology innovation diffusion based on multi-agent model. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2017, 36(8): 43-50.]
- [13] Fichter K, Clausen J. Diffusion of environmental innovations: Sector differences and explanation range of factors [J]. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 2021, 38: 34-51.
- [14] 李旭. 绿色创新相关研究的梳理与展望 [J]. 研究与发展管理, 2015, 27(2): 1-11. [Li Xu. Analysis and outlook of the related researches on green innovation. *R&D Management*, 2015, 27(2): 1-11.]
- [15] Marin G, Zanfei A. Does host market regulation induce cross-border environmental innovation? [J]. *The World Economy*, 2019, 42(7): 2089-2119.
- [16] Dechezleprêtre A, Neumayer E, Perkins R. Environmental regulation and the cross-border diffusion of new technology: Evidence from automobile patents [J]. *Research Policy*, 2015, 44(1): 244-257.
- [17] Losacker S. 'License to green': Regional patent licensing networks and green technology diffusion in China [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2022, 175: 121336. doi: 10.1016/j.techfore.2021.121336.
- [18] 段德忠, 金红. 中国城市绿色技术扩散的时空过程与形成机制 [J]. 地理学报, 2023, 78(8): 2001-2018. [Duan Dezhong, Jin Hong. Spatiotemporal process and driving factors of green technology diffusion in Chinese cities. *Acta Geographica Sinica*, 2023, 78(8): 2001-2018.]
- [19] 彭聪, 吕拉昌. 中国低碳技术专利的时空格局及影响因素: 基于中国284个地级及以上城市数据的实证分析 [J]. 技术与创新管理, 2023, 44(4): 424-434. [Peng Cong, Lv Lachang. Spatial-temporal pattern and influencing factors of low-carbon technology patents in China: An empirical analysis based on data of 284 cities at prefecture level and above in China. *Technology and Innovation Management*, 2023, 44(4): 424-434.]
- [20] 黄永春, 钱昕怡, 严翔, 等. 长三角绿色技术转移空间关联网络演化及驱动因素研究 [J]. 科技进步与对策, 2022, 39(21): 45-55. [Huang Yongchun, Qian Xinyi, Yan Xiang, et al. The evolution and driving factors of green technology transfer network in the Yangtze River Delta. *Science & Technology Progress and Policy*, 2022, 39 (21): 45-55.]
- [21] 张悦, 王晶晶, 程钰. 中国工业碳排放绩效时空特征及技术创新影响机制 [J]. 资源科学, 2022, 44(7): 1435-1448. [Zhang Yue, Wang Jingjing, Cheng Yu. Spatiotemporal characteristics of China's industrial carbon emission performance and influence mechanism of technological innovation. *Resources Science*, 2022, 44(7): 1435-1448.]
- [22] 徐英启, 程钰, 王晶晶. 中国资源型城市碳排放效率时空演变与绿色技术创新影响 [J]. 地理研究, 2023, 42 (3): 878-894. [Xu Yingqi, Cheng Yu, Wang Jingjing. The impact of green technological innovation on the spatio-temporal evolution of carbon emission efficiency of resource-based cities in China. *Geographical Research*, 2023, 42(3): 878-894.]
- [23] Ferreira J J M, Fernandes C I, Ferreira F A F. Technology transfer, climate change mitigation, and environmental patent impact on sustainability and economic growth: A comparison of European countries [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2020, 150: 119770. doi: 10.1016/j.techfore.2019.119770.
- [24] 段德忠, 夏启繁, 张杨, 等. 长江经济带环境创新的时空特征及其影响因素 [J]. 地理科学, 2021, 41(7): 1158-1167. [Duan Dezhong, Xia Qifan, Zhang Yang, et al. Evolution pattern and impact factors of environmental innovation in the Yangtze River Economic Belt. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(7): 1158-1167.]

- [25] 马海良, 张格琳. 偏向性技术进步对碳排放效率的影响研究: 以长江经济带为例 [J]. 软科学, 2021, 35(10): 100-106. [Ma Hailiang, Zhang Gelin. Research on the impact of biased technological progress on carbon emission efficiency: Taking the Yangtze River Economic Belt as an example. Soft Science, 2021, 35(10): 100-106.]
- [26] 林伯强, 蒋竺均. 中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析 [J]. 管理世界, 2009, 24(4): 27-36. [Lin Boqiang, Jiang Zhujun. Environmental Kuznets curve prediction and influence factor analysis of CO₂ in China. Journal of Management World, 2009, 24(4): 27-36.]
- [27] 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. [Wei Weixian, Yang Fang. Impact of technology advance on carbon dioxide emission in China. Statistical Research, 2010, 27(7): 36-44.]
- [28] 曹志宏, 郝晋珉, 邢红萍. 中国居民食物消费碳排放时空演变趋势及其驱动机制分析 [J]. 地理科学进展, 2020, 39(1): 91-99. [Cao Zhihong, Hao Jinmin, Xing Hongping. Spatial-temporal change of Chinese resident food consumption carbon emissions and its driving mechanism. Progress in Geography, 2020, 39(1): 91-99.]
- [29] Dietz T, Rose E A. Effects of population and affluence on CO₂ emissions [J]. PNAS, 1997, 94(1): 175-179.
- [30] 王正, 樊杰. 能源消费碳排放的影响因素特征及研究展望 [J]. 地理研究, 2022, 41(10): 2587-2599. [Wang Zheng, Fan Jie. The characteristics and prospect of influencing factors of energy-related carbon emissions: Based on literature review. Geographical Research, 2022, 41(10): 2587-2599.]
- [31] Grossman G M, Krueger A B. Economic growth and the environment [J]. The Quarterly Journal of Economics, 1995, 110(2): 353-377.
- [32] 杨文越, 曹小曙. 多尺度交通出行碳排放影响因素研究进展 [J]. 地理科学进展, 2019, 38(11): 1814-1828. [Yang Wenyue, Cao Xiaoshu. Progress of research on influencing factors of CO₂ emissions from multi-scale transport. Progress in Geography, 2019, 38(11): 1814-1828.]
- [33] 王少剑, 苏泳娴, 赵亚博. 中国城市能源消费碳排放的区域差异、空间溢出效应及影响因素 [J]. 地理学报, 2018, 73(3): 414-428. [Wang Shaojian, Su Yongxian, Zhao Yabo. Regional inequality, spatial spillover effects and influencing factors of China's city-level energy-related carbon emissions. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(3): 414-428.]
- [34] 李健, 周慧. 中国碳排放强度与产业结构的关联分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(1): 7-14. [Li Jian, Zhou Hui. Correlation analysis of carbon emission intensity and industrial structure in China. China Population, Resources and Environment, 2012, 22(1): 7-14.]
- [35] 秦耀辰, 荣培君, 杨群涛, 等. 城市化对碳排放影响研究进展 [J]. 地理科学进展, 2014, 33(11): 1526-1534. [Qin Yaochen, Rong Peijun, Yang Quntao, et al. Research progress of impact of urbanization on carbon emissions. Progress in Geography, 2014, 33(11): 1526-1534.]
- [36] 陈江龙, 李平星, 高金龙. 1990—2014年泛长三角地区能源利用碳排放时空格局及影响因素 [J]. 地理科学进展, 2016, 35(12): 1472-1482. [Chen Jianglong, Li Pingxing, Gao Jinlong. Spatiotemporal patterns and influencing factors of carbon emissions in the Pan-Yangtze River Delta region, 1990-2014. Progress in Geography, 2016, 35(12): 1472-1482.]
- [37] Zheng X Q, Lu Y L, Yuan J J, et al. Drivers of change in China's energy-related CO₂ emissions [J]. PNAS, 2020, 117(1): 29-36.
- [38] 邵帅, 范美婷, 杨莉莉. 经济结构调整、绿色技术进步与中国低碳转型发展: 基于总体技术前沿和空间溢出效应视角的经验考察 [J]. 管理世界, 2022, 38(2): 46-69, 4-10. [Shao Shuai, Fan Meiting, Yang Lili. Economic restructuring, green technical progress, and low-carbon transition development in China: An empirical investigation based on the overall technology frontier and spatial spillover effect. Journal of Management World, 2022, 38(2): 46-69, 4-10.]
- [39] 董直庆, 王辉. 环境规制的“本地—邻地”绿色技术进步效应 [J]. 中国工业经济, 2019(1): 100-118. [Dong Zhiqing, Wang Hui. Local-neighborhood effect of green technology of environmental regulation. China Industrial Economics, 2019(1): 100-118.]
- [40] 古惠冬, 杨维光, 陈文捷. 绿色技术创新对城市碳减排的效应研究 [J]. 学术探索, 2022(3): 120-132. [Gu Huidong, Yang Weiguang, Chen Wenjie. Effect of green technology innovation on urban carbon emission reduction. Academic Exploration, 2022(3): 120-132.]
- [41] Du K R, Li J L. Towards a green world: How do green technology innovations affect total-factor carbon productivity [J]. Energy Policy, 2019, 131: 240-250.
- [42] Du K R, Li P Z, Yan Z M. Do green technology innovations contribute to carbon dioxide emission reduction? Empirical evidence from patent data [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2019, 146: 297-303.
- [43] 段德忠, 杨凡, 胡璇. 中国城市技术转移的空间溢出效应

- 应与经济增长[J]. 科研管理, 2020, 41(6): 90-97. [Duan Dezhong, Yang Fan, Hu Xuan. Spatial spillover effect of technology transfer in China's city system and its impacts on city economic growth. *Science Research Management*, 2020, 41(6): 90-97.]
- [44] 吴建新, 郭智勇. 基于连续性动态分布方法的中国碳排放收敛分析[J]. 统计研究, 2016, 33(1): 54-60. [Wu Jianxin, Guo Zhiyong. Research on the convergence of carbon dioxide emissions in China: A continuous dynamic distribution approach. *Statistical Research*, 2016, 33(1): 54-60.]
- [45] 徐大丰. 资本深化、技术进步与中国碳排放EKC的形成[J]. 系统工程理论与实践, 2022, 42(6): 1632-1643. [Xu Dafeng. Capital deepening, technological progress and the formation of China's carbon emission EKC. *Systems Engineering: Theory & Practice*, 2022, 42(6): 1632-1643.]
- [46] 宓泽锋, 曾刚. 本地知识基础对新兴产业知识流动的影响: 以中国燃料电池产业为例[J]. 地理学报, 2021, 76(4): 1006-1018. [Mi Zefeng, Zeng Gang. The impact of local knowledge base on knowledge flow of emerging industry: A case of China's fuel cell industry. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(4): 1006-1018.]
- [47] Mukherji N, Silberman J. Absorptive capacity, knowledge flows, and innovation in US metropolitan areas[J]. *Journal of Regional Science*, 2013, 53(3): 392-417.
- [48] Barbieri N, Ghisetti C, Gilli M, et al. A survey of the literature on environmental innovation based on main path analysis[J]. *Journal of Economic Surveys*, 2016, 30(3): 596-623.
- [49] 刘仁厚, 王革, 黄宁, 等. 中国科技创新支撑碳达峰、碳中和的路径研究[J]. 广西社会科学, 2021, 29(8): 1-7. [Liu Renhou, Wang Ge, Huang Ning, et al. On path of supporting carbon peak and carbon neutralization by science and technology innovation in China. *Social Sciences in Guangxi*, 2021, 29(8): 1-7.]
- [50] 张翼, 卢现祥. 技术交易与产业集聚互动视角的区域二氧化碳减排研究: 来自中国省域层面的经验证据[J]. 财贸研究, 2015, 26(5): 33-40. [Zhang Yi, Lu Xianxiang. Regional carbon dioxide reduction on interaction between industrial agglomeration and technology transaction: On provincial panel data. *Finance and Trade Research*, 2015, 26(5): 33-40.]
- [51] 胡习习, 石薛桥. 绿色技术创新对碳排放绩效的影响研究: 以东北地区为例[J]. 湖北农业科学, 2022, 61(17): 5-10. [Hu Xixi, Shi Xueqiao. Research on the influence of green technology innovation on carbon emission performance: Take Northeast China as an example. *Hubei Agricultural Sciences*, 2022, 61(17): 5-10.]
- [52] 许士春, 习蓉, 何正霞. 中国能源消耗碳排放的影响因素分析及政策启示[J]. 资源科学, 2012, 34(1): 2-12. [Xu Shichun, Xi Rong, He Zhengxia. Influential factors and policy implications of carbon emissions for energy consumption in China. *Resources Science*, 2012, 34(1): 2-12.]
- [53] 邱立新, 徐海涛. 中国城市群碳排放时空演变及影响因素分析[J]. 软科学, 2018, 32(1): 109-113. [Qiu Lixin, Xu Haitao. Analysis of spatial-temporal evolution and impact factors of urban agglomerations carbon emissions in China. *Soft Science*, 2018, 32(1): 109-113.]
- [54] 李金凯, 程立燕, 张同斌. 外商直接投资是否具有“污染光环”效应? [J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(10): 74-83. [Li Jinkai, Cheng Liyan, Zhang Tongbin. Does foreign direct investment have the pollution halo effect? *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27(10): 74-83.]

Spatial and temporal characteristics of intercity green technology flows and emission reduction effects in the Yangtze River Economic Belt

JIN Hong^{1,2}, DUAN Dezhong^{1,2*}

(1. Institute for Global Innovation and Development, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

2. School of Geographical Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China)

Abstract: Accelerating the flow of green technology to enhance the sharing of green technologies among cities is not only a key measure to implement the green development strategy and achieve the dual carbon goals, but also a key step to promote the cross-regional flow of factors and build a large national unified market. This study examined the intercity green technology flow by intercity green patent transfer, and analyzed the spatiotemporal evolution patterns of intercity green technology flow in the Yangtze River Economic Belt from 2001 to 2020 with the help of big data mining and GIS spatial analysis. The emission reduction effects of green technology flow was studied from the perspective of technology agglomeration. This study found that: 1) The green technology flow within the Yangtze River Economic Belt was mainly dominated by the Yangtze River Delta region, and the level of cross-regional green technology flow was low. From the perspective of flow directions, cross-regional green technology diffusion has experienced the development path of random flow → agglomeration to the Yangtze River Delta → mixed flow. 2) The Yangtze River Economic Belt green technology diffusion activities at the national level were highly concentrated in the Yangtze River Delta region, with the Chengdu-Chongqing region gradually emerging, while the Beijing-Tianjin region and the Pearl River Delta were the main partners in the flow of green technologies of the Yangtze River Economic Belt, thus forming a rhombic network with the Beijing-Tianjin, Yangtze River Delta, Pearl River Delta, and Chengdu-Chongqing regions as the hubs. 3) The regression results show that there was a scale threshold effect in the local emission reduction effect brought about by green technologies acquired from the outside, that is, local carbon emission reduction can only be realized after the green technologies acquired from the outside has reached a certain scale.

Keywords: green patent; green technology flow; carbon emissions; Yangtze River Economic Belt