

引用格式: 尚勇敏, 宓泽锋, 周灿, 等. 中国城际低碳技术转移对碳排放的影响: 基于知识学习与技术学习“二分法”视角[J]. 资源科学, 2023, 45(4): 827–842. [Shang Y M, Mi Z F, Zhou C, et al. Impact of intercity low-carbon technology transfer on carbon emission reduction in China: Based on the “dichotomy” of knowledge learning and technology learning[J]. Resources Science, 2023, 45(4): 827–842.] DOI: 10.18402/resci.2023.04.12

中国城际低碳技术转移对碳排放的影响 ——基于知识学习与技术学习“二分法”视角

尚勇敏¹, 宓泽锋², 周 灿³, 林 兰⁴

(1. 上海社会科学院生态与可持续发展研究所, 上海 200020; 2. 浙江工业大学经济学院, 杭州 310014; 3. 浙江工商大学经济学院, 杭州 310018; 4. 上海社会科学院城市与人口发展研究所, 上海 200020)

摘 要:【目的】加大低碳技术转移是缩小区域间低碳技术差距和提升全国整体低碳技术水平的关键。本文旨在探讨低碳技术转移与碳排放降低的关系, 以及知识学习(STI)和技术学习(DUI)对中国碳排放的影响, 以寻求有效低碳技术转移路径。【方法】基于2005—2019年中国城际低碳技术专利转让数据, 分析中国城际低碳技术转移格局, 并运用空间计量模型分析知识学习和技术学习两种低碳技术转移模式对碳排放的影响。【结果】①中国城际低碳技术转移具有高度集聚性、等级层次性等特征, 呈现以全国主要城市群为“核心”、其他城市为“边缘”的“核心—边缘”结构, 而碳排放呈北高南低格局; ②中国城际低碳技术转移对技术转入地碳排放降低具有积极影响, 但因技术转移方式而存在差异, 基于知识学习的技术转移对碳排放降低的影响强于基于技术学习的技术转移; ③在经济发达城市知识学习和技术学习均对碳排放降低具有积极影响, 在经济欠发达城市仅知识学习具有积极影响, 各城市需把握异质性低碳技术转移规律, 推动低碳技术资源高效配置。【结论】中国城际低碳技术转移水平与碳排放强度存在空间错位; 基于知识学习的技术转移能有效弥补基于技术学习的技术转移的市场失灵; 中国城际低碳技术转移对碳排放降低的影响存在区域异质性。中国应积极构建多中心、多层次低碳技术转移网络体系, 协同发挥科研机构及企业在低碳技术转移中的作用, 因地制宜推进城际低碳技术转移, 积极完善低碳技术转移服务体系。

关键词: 低碳技术转移; 知识学习; 技术学习; 碳排放; 空间杜宾模型; 中国

DOI: 10.18402/resci.2023.04.12

1 引言

面对全球气候危机, 中国作出了碳达峰、碳中和的目标承诺, 并提出推动低碳科技革命。碳达峰、碳中和是全国共同的目标与责任, 但当前全国各城市低碳技术创新水平差距十分显著。自从《联合国气候变化公约》签署以来, 学术界及政界均肯定了低碳技术转移对碳排放降低的积极意义^[1]。因此, 加强低碳技术转移或将成为弥补城际技术差距、提升各城市碳减排能力以及实现碳达峰、碳中

和整体目标的有效途径。然而, 就全球和中国而言, 低碳技术转移效率均有待提高。尽管全球各国或地区为积极推动低碳技术创新合作采取了较多措施, 但低碳技术转移并未同步促进碳排放降低, 全球绿色发展不平等仍然在加剧^[2]; 中国欠发达地区低碳技术落后局面也未能得到扭转, 其碳排放依然保持增长态势, 碳达峰压力仍然巨大^[3]。为此, 如何有效提升低碳技术转移效率及其对碳排放降低的支撑作用, 成为中国碳达峰、碳中和整体目标实

收稿日期: 2022-11-02 修订日期: 2023-03-26

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(42001118; 42201192); 国家自然科学基金面上项目(42271197)。

作者简介: 尚勇敏, 男, 四川江油人, 副研究员, 主要研究方向为区域创新与区域可持续发展。E-mail: yong864@163.com

通讯作者: 周灿, 女, 河南固始人, 副教授, 主要研究方向为创新网络与产业集群、区域创新与区域协调发展。E-mail: zc070260046@126.com

现的关键所在。

长期以来,学术界未充分认识到低碳技术有别于一般技术的特征,其公共物品属性强,且具有研发周期长、投入产出效益低、双重外部性突出等特征^[4,5],这使强调经济利益和短期效益的企业缺乏自主研发动力,过度依赖企业为主导知识来源的低碳技术转移形式容易出现市场失灵,进而不利于技术转入地低碳技术水平有效提升。这引发了不同知识来源与技术转移方式对技术转入地低碳技术水平提升和碳排放降低的作用的讨论。从理论上讲,根据创新来源“二分法”,低碳技术转移可分为知识学习(Science, Technology and Innovation, STI)与技术学习(Doing, Using and Interacting, DUI)两种模式,STI强调与研究机构、大学进行科学知识和专业知识合作,DUI强调与产业链伙伴进行经验与技术交流^[6,7],这使得STI和DUI两种技术转移模式分别伴随着学研机构与企业,企业与企业的技术转移进行。学研机构是重要的公共资源提供者,技术转移排他性弱、正外部性强^[8];企业技术转移更强调应用性^[9],但技术转移排他性强。当前,学术界对知识学习与技术学习两种低碳技术转移方式差异的关注相对不足,二者对碳排放的影响有待重新审视。

从现实上看,全球低碳技术转移通常注重以设备购买使用为主的DUI模式,忽视知识积累学习为主的STI模式^[10]。由于缺乏科学知识、经验知识的传递,近30年来只有1/3的国际低碳技术转移是成功的^[11]。中国低碳技术转移与推广应用通常强调企业为主导的技术升级改造,忽视学研机构科学知识、原理知识的传播;在中国“低碳技术成果转化推广清单”中,学研机构参与明显不足。这种重技术学习、轻知识学习在客观上可能容易实现低碳技术在部分领域的突破,但基础知识的缺乏导致难以实现整体低碳技术水平提升和更好地转化应用,最终难以有效推动低碳技术水平及碳减排能力整体提升。长期以来,基础研究是中国科技创新的短板之一,应高度重视知识学习与技术学习对碳排放的影响。有鉴于此,有必要探讨低碳技术转移与碳排放降低的关系,以及知识学习和技术学习对中国碳排放的影响,进而寻求有效低碳技术转移路径。

本文通过系统分析低碳技术转移与碳排放关系,基于incoPat专利数据库获取2005—2019年中国城际低碳技术专利转让数据,分析中国城际低碳技术转移格局,并运用空间计量模型分析城际低碳技术转移对碳排放的影响,以期为中国科技创新支撑碳达峰、碳中和目标顺利实现提供理论与决策支撑。

2 文献综述与研究假设

2.1 低碳技术转移与碳排放的关系

低碳技术是指减少温室气体排放并实现经济社会发展的技术,其具有公共物品属性,以及复杂性、多样性和行业异质性等,几乎跨越所有经济部门^[12]。从技术领域看,国际能源署(IEA)将低碳技术分为清洁能源技术、节能技术、碳排放降低技术3类。同时,大量学者认为,低碳技术转移包括资本货物与服务转移、技能知识转移、科学知识转移等^[13];并认为有效的技术转让不仅包括硬件设备(如太阳能电池板、风力涡轮机、水电发电机),还包括理解、操作和维护新技术所必须的知识与能力,甚至促进低碳技术吸收和激励创新的制度安排^[14]。

低碳技术转移与碳排放关系的研究最早可追溯至Ehrlich等^[15]提出的IPAT模型,技术水平被认为是影响环境质量的重要因素。低碳技术创新资源分布高度不均导致了发达地区与欠发达地区间的“绿色鸿沟”^[16]。绿色技术转移是优化绿色技术资源配置的重要途径,而低碳技术的公共物品属性及环境问题的共同性使得低碳技术相较于其他技术更容易发生技术转移^[4]。对于低碳技术转移与碳排放的关系,尽管部分学者认为,低碳技术转移仍是一个政治性议题,低碳技术跨区域转移仍然不充分,用货币对生态系统服务进行估值可能形成少数资本力量对自然资源与生态环境的控制,导致对生态环境及其他群体的损害,且当前低碳技术转移合作的系统性政策制度设计仍然不足,使其绿色发展效应难以充分发挥^[18]。然而,更多学者们积极呼吁发挥低碳技术转移对实现可持续发展目标的关键作用^[17],并认为低碳技术转移是实现区域整体碳减排的重要途径,那些积极推动低碳技术转移的国家或者地区,其低碳技术要素丰富度和绿色发展能力也

2023年4月

会得到普遍提高^[19]。如Gu等^[20]指出在国家间完全共享低碳技术时,低碳技术转移可以减少约40%的全球累积碳排放量。这也得到全球和中国的实际行动响应,多个国家(地区)和中国通过大力推进低碳技术转移促进碳减排。基于此,本文提出以下假设:

H1:低碳技术转入将有助于促进本地碳排放降低。

2.2 不同低碳技术转移方式对碳排放的影响

技术转移方式的多样性使得异质性技术转移方式可能产生不同的创新效应^[21],为此,分析不同低碳技术转移方式的研究显得十分必要。根据知识来源,技术转移方式可分为知识学习(STI)与技术学习(DUI)两种迥异的模式,其中,知识学习是指偏重于加深对客观规律认知的学习方式,强调对原理知识(Know-why)的探索与传递,更关注正式研发活动、高学历人才应用,通常以高校、科研院所为知识来源;而技术学习是指偏重于提升将客观规律运用于现实生产中的能力的学习方式,强调对技能知识(Know-how)的探索与传递,通常以产业链上的客户、供应商甚至同行为技术来源^[6,7]。技术来源及技术转移方式的差异对碳排放可能产生异质性影响,尽管学术界缺乏直接对知识学习及技术学习两种低碳技术转移对碳排放降低差异化影响的探讨,但二者的差异不容忽视。分析STI和DUI低碳技术转移对碳排放的影响,是探寻有效低碳技术转移路径和提升对碳减排支撑作用的重要切入点。

2.2.1 基于知识学习的低碳技术转移对碳排放的影响

技术转移不仅需要传递技术知识,还需要传递更深层次、具体和系统的知识^[22],为此有学者呼吁重视STI模式低碳技术转移^[10,11]。STI模式低碳技术转移对碳排放的影响主要表现为三方面:①STI推动知识在不同创新主体间流动,实现科学知识与其他生产要素重新组合配置^[23],进而促进低碳技术创新能力和碳减排能力的提升。②STI强调完善技术转入地低碳技术知识体系,并帮助当地企业将科学知识转化为能够应用的技术知识^[24],承担着将科学知识转化为碳减排能力的中介作用。同时,STI还有助

于通过高校资源优势弥补企业自身研发短板,完善企业低碳技术研发体系^[25],激励增加低碳技术创新投入,还将帮助企业更好地嵌入低碳技术创新网络,更好地获取外部低碳技术^[6]。③STI通过人才培养、技术转让、发布专利等方式,了解市场技术与人才需求,引导学研机构的人才培养与科技创新,低碳技术转移产生的逆向需求效应将进一步促进区域低碳技术创新能力提升^[9]。基于此,本文提出以下假设:

H2:STI模式低碳技术转移将显著促进技术转入地碳排放降低。

2.2.2 基于技术学习的低碳技术转移对碳排放的影响

DUI是低碳技术转移的主要模式,对技术转入地碳排放具有直接和间接影响。一方面,DUI强调应用性,企业间的技术转移以解决当前实际问题为主^[6],通过推动低碳技术要素流动、技术人员经验传递,优化技术转入地低碳技术结构,加速落后高碳技术淘汰,实现在较短时间内推动技术转入地企业进行设备与技术改造和技术进步。另一方面,DUI有助于促使企业认识到自身与前沿技术的差距,进而拓宽企业创新路径,激励技术转入地开展低碳技术创新^[9]。由此,DUI通过“引进—吸收—扩散—再创新”促进技术转入地低碳技术创新水平^[26,27]和碳减排能力的提升,并推动能源结构优化、能源利用效率提升、产业结构优化调整等^[28,29],进而实现碳排放总量与碳排放强度的不断下降。基于此,本文提出以下假设:

H3:DUI模式低碳技术转移将显著促进技术转入地碳排放降低。

2.3 低碳技术转移对碳排放影响的区域异质性

根据技术转移理论,城际低碳技术转移的形成源于转出地技术供给与转入地低碳技术需求^[30],包括技术转入地的技术需求、技术吸收能力以及转出地扩张动机、技术供给能力、市场经验等^[13],通过有效的技术转移通道,促进了技术转移供需双方的对接。此外,技术转移地的经济基础、创新环境、开放水平等主体属性、城市邻近性,以及城市间产业结构与经济基础差异性、人口流动等城市联系度均是

影响城际技术转移的重要因素^[31,32]。可见,城际技术转移路径、驱动因素等具有复杂性,也导致其对碳排放的影响具有复杂性,在空间上形成差异化的技术转移效应。如Ma等^[33]发现跨区域能源技术转移对中国东部和西部地区碳排放降低有积极影响,但对中部地区影响不显著。寻找异质性影响产生的原因,部分学者开始关注技术吸收能力,即识别、吸收和利用知识的能力;并认为低碳技术转移促进碳减排的关键在于将低碳技术转移内化为本地低碳技术创新水平^[12]。如果技术吸收能力较低,技术转入地就很难推动新技术的使用、适应、开发,也难以促进技能、知识的创造,以及组织变革与制度安排;即使技术吸收能力较高,也需要不断学习和投入资源^[34]。此外,也有大量学者认为,低碳技术转移对碳排放的影响还决定于投资与创新环境、开放水平、产业结构、环境规制等技术转移影响因素^[13,35],以及城市化与人口规模、能源消费、产业结构、经济增长、技术创新等碳排放影响因素^[36,37],上述因素都可称为区域环境因素。而经济发展水平往往是各项区域环境因素的综合函数,通常各项区域环境因素越优越,经济发展水平也相对越高^[38],低碳技术转移就越活跃,对碳排放降低的影响也越明显。如Pigato等^[12]发现,2010—2015年,日本、美国、德国、韩国、中国低碳技术专利产出占全球的73%,而其余国家仅占27%。基于此,本文提出以下假设:

H4:低碳技术转移对不同经济水平的地区具有异质性影响,对经济发达地区的影响强于欠发达地区。

综上所述,现有文献对低碳技术转移的碳减排效应作了较多探讨,但总体存在以下不足:①现有研究对知识学习与技术学习两种低碳技术转移模式的研究较为碎片化,缺乏对不同技术转移方式特征及其效应的系统分析;②现有研究罕有从地理学视角审视低碳技术转移空间特征规律,以及对不同技术转移模式的空间规律分析;③低碳技术转移与碳排放的关系仍未明确,且缺乏通过面板数据开展中国城际低碳技术转移对碳排放影响的实证检验,尤其是知识学习与技术学习对碳排放的异质性影响有待进一步验证。鉴于以上不足,本文的贡献在

于:①从创新“二分法”出发,将STI和DUI两种低碳技术转移模式纳入同一模型,建立起了异质性低碳技术转移方式与碳排放降低的理论关联;②基于专利数据和GIS可视化工具,对2005—2019年中国城际低碳技术转移格局进行全局性空间分析,并进行碳排放影响的检验;③引入专利数据与空间计量分析,从技术转移方式异质性、区域异质性角度,实证检验了低碳技术转移对碳排放的异质性影响,探寻不同地区依靠低碳技术转移提升碳减排能力的有效途径。

3 数据与方法

3.1 数据来源

专利转让作为一种市场交易行为,能反映出专利在城市间的技术共享和专利交易信息,是测度区域技术知识流动、扩散和转移的重要形式^[32]。本文采用专利转让数据反映中国城际低碳技术转移特征与水平,数据采集及处理过程如下:首先,OECD于2015年发布ENV-TECH,定义了低碳技术的IPC/CPC专利分类号,包含能源、运输、建筑、废物管理、制造、信息通信领域的减缓技术以及CCS技术等7个类别。本文基于ENV-TECH低碳技术专利分类号,通过incoPat专利数据库进行低碳技术专利转让信息检索,包含专利分类号、申请人、申请日期、法律状态、所在城市、主体属性等信息;并根据研究需要,剔除国际及中国港澳台地区,个人申请专利信息,以及信息不详等异常数据。由于专利申请到授权存在滞后性问题,通常需要1~2年的审核期^[39],为保证数据完整性,本文主要提取2005—2019年低碳技术专利转让数据。其次,根据专利申请人及其法律状态变更信息提取专利转让信息,生成低碳技术专利转让数据库;若专利转让人、受让人中有多个参与人,则视为多个转让、受让人之间均存在转让关系。同时,运用Python工具进行数据清洗,根据专利申请人的主体属性,提取大专院校、科研单位向企业的低碳技术转移事件,形成STI低碳技术转移数据;并提取企业向企业的低碳技术转移事件,形成DUI低碳技术转移数据。为强调外部技术转入对本地低碳技术创新能力的影响,本文仅筛选其他城市学研机构、企业向本市企业进行的低碳技术

2023年4月

专利转让事件。再次,将专利转移数据进行地理信息匹配,本文主要考虑中国地级以上城市,依据各城市邮政编码与专利申请人地址进行匹配,生成“邮政编码—城市名称”空间数据库,获得专利权利人的城市地理空间信息;其中,城市邮政编码数据来源于“全国行政区划信息查询平台”。最后,对数据进行清洗核查,将发生在同一城市内的专利转让数据进行剔除,并通过随机抽取、交叉检验等方式进行数据校验,确保数据科学性和一致性。基于上述处理流程,共提取城际低碳技术专利转入数据91649条。

本文碳排放数据来源于“中国碳核算数据库”(CEADs)的城市碳排放清单,部分城市缺失数据根据数据库中“县级尺度碳排放数据”或近3年平均增速进行拟合。其他社会经济数据来源于《中国城市统计年鉴》、各城市统计年鉴与统计公报等。研究对象选择地级市(含直辖市),综合考虑低碳技术转移数据、碳排放数据及主要控制变量数据缺失情况,剔除数据缺失严重的三沙、拉萨、日喀则、昌都、林芝、山南、那曲、吐鲁番、哈密等城市,共获得284个地级以上城市样本的数据。

3.2 研究方法

IPAT模型指出环境的决定因素是人口、富裕程度和技术。Dietz等^[40]在IPAT模型基础上进行改进,提出STIRPAT模型,该模型允许将各系数作为参数进行估计,并对影响因子进行分解和扩展。模型基础表达形式为:

$$I = aP^b A^c T^d \varepsilon \quad (1)$$

式中: I 为环境影响,用碳排放强度表征; P 为人口; A 为富裕程度,通常用人均GDP表征; T 为技术进步,在本文中反映为低碳技术转移; ε 为误差; a 、 b 、 c 、 d 为待估参数。基于该模型,并借鉴相关学者做法^[41,42],研究碳排放的影响因素。由于碳排放与技术转移均具有强空间溢出性,区域间碳排放与低碳技术转移在空间上存在相互影响,有必要构建空间计量模型来探讨低碳技术转移对碳减排的影响。其中,空间杜宾模型为空间计量模型的一般形式,以及捕捉各类空间溢出效应的标准框架^[43],本文选择空间杜宾模型进行空间计量分析,其公式为:

$$\begin{aligned} \ln CES_{it} = & \beta_0 + \delta W \ln CES_{it} + \beta_1 \ln PATSTI_{it} + \\ & \beta_2 \ln PATDUI_{it} + \beta_3 \ln CONTROL_{it} + \\ & \theta_1 W \ln PATSTI_{it} + \theta_2 W \ln PATDUI_{it} + \\ & \theta_3 \ln CONTROL_{it} + \mu_t + \lambda_i + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (2)$$

式中: CES_{it} 为被解释变量—— i 城市 t 年份的碳排放强度; $PATSTI_{it}$ 和 $PATDUI_{it}$ 分别为STI和DUI低碳技术转移; $CONTROL_{it}$ 为一系列控制变量; W 为采用城市间空间直线距离构建的 284×284 的空间权重矩阵,且对矩阵采取标准化处理; λ_i 和 μ_t 分别为个体固定效应和时间固定效应; ε_{it} 为误差项; δ 、 β_0 、 β_3 、 θ_1 、 θ_3 为待估参数。 W 的公式为:

$$W = \tilde{w}_{ij} / \sum_{j=1}^n \tilde{w}_{ij} \quad (3)$$

式中: n 为矩阵行列数,即地级及以上城市数量284; \tilde{w}_{ij} 是矩阵 W 中第 i 个城市与第 j 个城市间的空间距离。

3.3 变量选取

3.3.1 被解释变量

被解释变量选择碳排放强度(CES),即各城市当年单位GDP二氧化碳排放量,其中GDP采用当年实际值(表1)。

3.3.2 解释变量

技术转移的测度通常包括技术转让、人才流动、研发合作、商品与服务贸易、国外投资、技术援助等变量,其中,专利转让实质是基于社会网络嵌入的知识流动和创新资源整合的交互创新过程,能反映知识与技术在组织间的共享与转移,成为研究创新网络的重要数据源^[44]。考虑到专利转入更能反映外部技术转移对本地低碳技术创新能力提升的作用,本文采用各城市从其他城市向本市的低碳技术专利转入量衡量低碳技术转移水平。从基于三螺旋理论的产学研合作角度看,专利转让主要发生于学研机构和企业内部或之间,表现为学研机构—企业,企业—企业,企业—学研机构,学研机构—学研机构等类型,由于低碳技术强调应用场景,需要应用于企业生产过程才能有效发挥其对碳排放降低的作用,面向企业及应用企业是低碳技术转移的关键所在。现实中,学研机构—企业以及企业—

表1 变量描述统计

Table 1 Descriptive statistics of variables

变量	单位	变量名	平均值	标准差	最小值	最大值
二氧化碳排放强度	t/万元	CES	2.95	2.74	0.15	33.09
学研机构—企业低碳技术专利转入量	件	PATSTI	2.71	16.04	0	569
企业—企业低碳技术专利转入量	件	PATDUI	14.34	66.57	0	1585
低碳技术专利存量	件	TAC	40.12	139.82	0	2645
第二产业比重	%	IND	47.30	11.81	9.00	90.97
人均GDP	万元	PGDP	4.29	10.32	0.24	64.21
人口密度	人/km ²	PD	428.30	337.39	4.70	2759.14
环境规制指数	指数	ER	0.74	0.13	0.33	0.97

企业技术转移占据技术转移的主体,故本文主要考虑学研机构—企业,企业—企业两种类型低碳技术转移活动。借鉴 Losacker^[4]、Fitjar 等^[6]的思路,使用学研机构—企业低碳技术专利转入数量(PATSTI)衡量从其他城市学研机构向本市企业的低碳技术专利转入量,使用企业—企业低碳技术专利转入数量(PATDUI)衡量从其他城市企业向本市企业的低碳技术专利转入量,以此考察 STI 及 DUI 两种技术转移模式对碳减排的影响(表1)。

3.3.3 控制变量

为考察低碳技术转移对碳排放强度影响的复杂性,结合理论模型及相关研究,进一步引入相关控制变量如下:①技术吸收能力(TAC)。技术吸收能力是识别、吸收和利用知识的能力^[45],较强的技术吸收能力有助于低碳技术转化为本地低碳技术创新能力和碳排放降低效应。参考 Pigato 等^[12]的研究,将低碳技术专利存量作为考察低碳技术吸收能力的变量。②产业结构(IS)。低碳技术转移与碳排放均受到技术转入地产业结构的影响,第二产业作为主要碳排放源,其占比越高,对低碳技术转入的需求也越强,参照何爱平等^[46]的研究,将第二产业比重作为控制变量。③人均GDP(PGDP)。碳排放水平、绿色低碳技术创新合作量与经济发展水平有着显著正相关关系^[36,47],借鉴 Peng^[47]的研究,将人均GDP作为控制变量。④人口密度(PD)。人口活动是碳排放的主要因素,采用城市人口密度作为控制变量。⑤环境规制(ER)。环境规制与低碳技术转移、碳排放有着紧密关系^[48],其测度方法通常有单一指标法、赋值打分法、分类考察法和综合指数法4

种^[49]。由于单一指标容易产生偏差,赋值打分具有主观性,且城市层面数据难以支撑分类考察环境规制强度,采用综合指数法,借鉴李虹等^[49]、钟茂初等^[50]的研究,用工业二氧化硫、工业烟粉尘,以及一般工业固废综合利用率、生活垃圾无害化处理率、污水处理厂集中处理率等作为环境规制测度指标,以间接反映环境规制强度。考虑到城市尺度工业二氧化硫及烟粉尘去除率数据缺乏,采用单位工业增加值二氧化硫排放量、单位工业增加值烟粉尘排放量代替,并对其进行指标逆向化处理,保证5个指标的方向性一致;进而,对上述5项指标数据进行标准化,并赋等权重进行加权求和,计算得到各城市环境规制指数(表1)。

为减小指标间的异方差,对各指标进行取对数处理,由于个别指标存在0值,可能导致无法进行对数处理;因此,本文对各指标值加1后再进行对数处理。

4 结果与分析

4.1 低碳技术转移及碳排放空间特征分析

4.1.1 中国城际低碳技术转移空间特征

2005—2019年,中国城际低碳技术转移水平持续提升,全国各城市合计低碳技术专利转入量由166件增长至19115件,有效促进了跨区域低碳技术流动和知识溢出。通过进一步对中国城际低碳技术转让关系信息进行矩阵化处理,运用 ArcGIS10.2 软件绘制了2005—2019年中国城际低碳技术转移网络图(图1)。

从整体空间格局看,中国城际低碳技术转移强度分布不均衡,2005—2019年,STI及DUI低碳技术

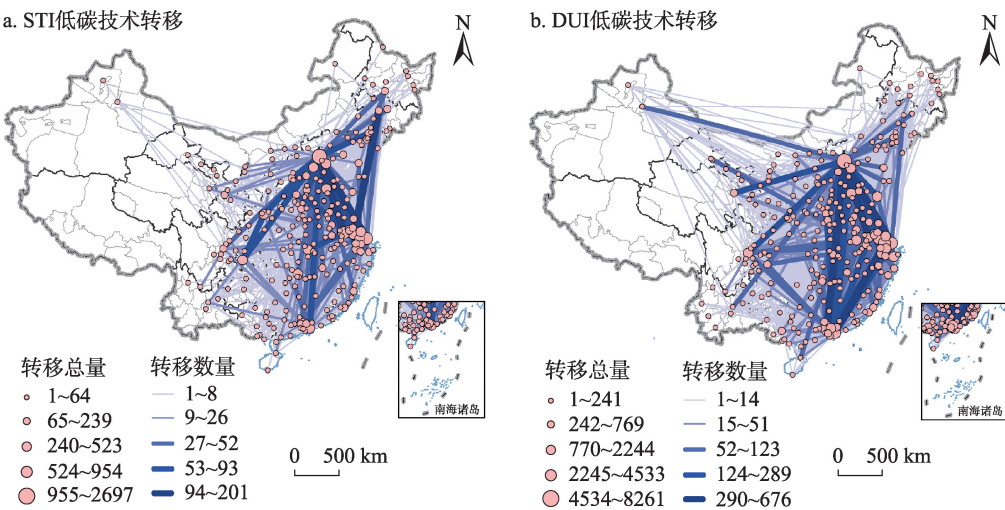


图1 2005—2019年中国城际低碳技术转移网络

Figure 1 China's intercity low-carbon technology transfer network, 2005-2019
注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2020)4619号标准地图制作,底图边界无修改。

转入量排名前10的城市分别占全国低碳技术转入量的53.24%和47.07%,中国低碳技术转入高度集聚在京津冀、长三角、珠三角、成渝、长江中游等城市群,大量城市未能有效获得外部低碳技术转入或技术转入水平较低。同时,中国城际低碳技术转移网络呈现明显的等级层次性和“强—强联系”特征,经济发达城市间技术转移频率远高于经济欠发达城市间的技术转移频率,2005—2019年,上海—北京、南京—北京、北京—天津、北京—深圳等经济发达城市间的低碳技术转移位居前列(表2)。而经济欠发达城市在低碳技术转移网络中处于边缘化,形成明显的“核心—边缘”结构。

从不同技术转移方式的差异看,中国STI和DUI低碳技术转移网络整体格局相似,但二者也存在一定差异。在STI低碳技术转移网络中,京津冀、长三角城市群因丰富的高校与科研院所资源和密

集的产业经济活动而占据网络的绝对核心地位;珠三角城市群因学研机构优势不足,其STI低碳技术转移网络密度相对较低;而东北地区因其科研资源丰富及工业活动集聚也占据网络重要位置。值得注意的是,保定、太原等经济相对欠发达城市或处于网络边缘的城市在STI低碳技术转移关系对中也位居前列,这些城市相对邻近高校与科研院所,且高碳产业相对聚集导致其低碳技术需求较大,往往以STI低碳技术转移网络作为获取外部低碳技术资源的有效渠道。在DUI低碳技术转移网络中,低碳技术转移活动集聚特征更为明显,且与产业经济活动在空间上高度相关。如表2所示,排名前列的DUI低碳技术转移关系几乎均集聚在三大城市群。相较于STI低碳技术转移网络,珠三角城市群、西北地区在DUI低碳技术转移网络中的地位明显提升,东北地区网络地位则有所下降;其原因可能为珠三

表2 中国城际低碳技术转移数量排名前10的转移关系

Table 2 Top 10 transfer relationships among China's intercity low-carbon technology transfers

STI低碳技术转移				DUI低碳技术转移			
转移关系	数量	转移关系	数量	转移关系	数量	转移关系	数量
北京—南京	201	长春—常州	117	上海—北京	676	深圳—苏州	364
北京—保定	184	北京—深圳	93	南京—北京	581	广州—北京	354
北京—天津	164	北京—杭州	81	东莞—深圳	553	济南—北京	352
北京—上海	126	杭州—湖州	77	天津—北京	443	杭州—北京	289
北京—济南	118	北京—太原	73	苏州—上海	440	深圳—北京	289

角城市群产业经济活动密集,西北地区能源、化工等高碳产业占比较高,在绿色低碳发展要求下,积极寻求外部低碳技术转入,以推动碳排放水平降低。

从区域异质性看,东部地区城际低碳技术转移活动频繁,技术转移网络的网络化、集群化特征明显,这为低碳技术资源区际优化配置、提升区域整体低碳技术创新能力和碳减排能力提供了重要条件。而中西部及东北地区低碳技术转移网络总体表现为以重庆、成都、西安、兰州、昆明、乌鲁木齐、沈阳、长春等中心城市为核心的“星芒状”结构,这些城市发挥着区域内“技术守门员”作用,与外部技术发达地区建立联系通道,将外部低碳技术引入本地集群。

4.1.2 中国各城市碳排放强度空间特征

通过对2005、2019年中国城市碳排放强度进行可视化分析发现,中国城市碳排放强度空间分异明显,并整体呈现北高南低的地理格局(图2)。2005和2019年,中国城市碳排放强度的高值城市主要位于山西、陕西、内蒙古、河北、辽宁、甘肃等北方地区,这可能是因为北方城市能源结构以煤为主,采暖热源仍然主要是热电联产和燃煤、燃气锅炉等生产的热力,且钢铁、火电等高碳产业占比较高,其碳排放强度也明显高于南方城市。南方城市碳排放强度整体较低,仅马鞍山、六盘水、鹰潭、新余、萍乡、内江、攀枝花、韶关等部分城市碳排放强度相对

较高,这些城市煤炭、钢铁、金属冶炼等高耗能产业密集,经济发展高碳特征明显。从2005—2019年碳排放强度变化空间格局看,南方城市高碳排放强度城市数量有所减少,北方城市高碳排放强度城市数量明显增多。其中,内蒙古、陕西、辽宁、黑龙江等是主要增长区域,而这些地区低碳技术转移相对欠缺,但低碳技术转移需求较强。总体上,中国碳排放强度及其增长与低碳技术转移水平存在空间错位,当前低碳技术转移格局难以满足全国整体碳排放降低的需求。为此,优化低碳技术转移格局,提高低碳技术资源跨区域配置效率,加强对碳排放强度高值地区、经济相对欠发达地区的低碳技术转移,是中国低碳技术转移、提升碳减排能力的重点。

4.2 空间计量分析

为避免使用非平稳变量建立的模型所产生虚假回归问题,需要对变量进行单位根检验。本文数据年份为2005—2019年,选择Hadri LM检验对各指标数据进行单位根检验,其目的是检验指标数据是否平稳,如果存在单位根,则指标不平稳,反之则平稳。LM检验的原假设 H_0 为所有个体是平稳的,备选假设 H_1 为部分个体非平稳。表3显示所有指标数据均在1%水平上显著,表示不拒绝原假设,说明各指标数据是平稳的。

碳排放并非单纯的局部环境问题,在很大程度上会扩散到周边地区,这就要求在研究中对碳排放

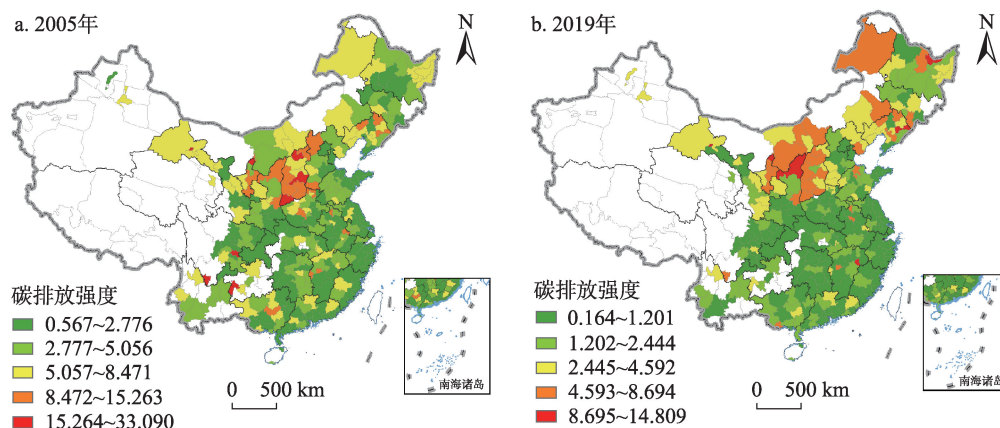


图2 2005、2019年中国碳排放强度空间格局图

Figure 2 Spatial pattern of carbon emission intensity in China, 2005 and 2019

注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2020)4619号标准地图制作,底图边界无修改。

2023年4月

表3 LM单位根检验结果

Table 3 LM unit root test results

变量名	lnCES	lnPATSTI	lnPATDUI	lnTAC	lnIND	lnPGDP	lnPD	lnER
统计量	24.028	9.135	10.380	14.150	37.145	18.195	20.673	32.589
<i>P</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

的空间溢出效应予以考察和控制,以增强分析结果的稳健性和提供更加准确的决策^[51]。通过对2005—2019年碳排放强度的全局Moran's *I*进行计算发现(表4),2005—2019年,中国城市碳排放强度Moran's *I*均在1%水平上显著为负;反映中国碳排放强度存在显著的空间负相关性,需要采用空间计量模型探讨低碳技术转移对碳排放强度的影响。

本文运用hausman检验、LM检验、Robust LM检验和似然比检验等进行模型检验,最终选择固定效应下的空间杜宾模型进行估计。表5显示了低碳技术转移影响碳减排的估计结果,模型(1)–(3)分别为OLS面板回归、SAR模型回归和SEM模型回归结果,模型(4)为SDM模型回归结果。结果显示,各模型中lnPATSTI和lnPATDUI的系数均显著为负,即STI和DUI低碳技术转移对碳减排均具有积极影响;且各空间计量模型的空间滞后项系数显著为正,表明本地碳排放强度会受到邻近地区经济活动的加权影响。以上验证了H1。

从模型(4)可见,lnPATSTI和lnPATDUI的系数分别在1%和在5%水平上显著为负,反映低碳技术转移显著促进了碳排放强度降低。城际低碳技术转移将在更大程度上提升低碳技术资源配置效率,进而有助于提升技术转入地低碳技术水平,增强碳减排能力,实现碳排放降低,以上说明H2和H3成立。需要指出的是,STI和DUI两种低碳技术转移模式对碳排放的影响存在程度上的差异,lnPATSTI

的估计系数为-0.020,是lnPATDUI的两倍,反映STI低碳技术转移对技术转入地碳排放强度的影响更大。其主要原因是,由于企业间资源的强竞争性和排他性,DUI低碳技术转移更加强调经济利益,对于公共物品属性强、投入产出效益相对较弱、双重外部性较强的低碳技术,扩散效果不明显。在现实中,中国企业间低碳技术转移相对较为零散,更加注重解决当下的实际问题,这容易实现低碳技术单点突破,但科学知识以及全链条协同缺乏,导致其难以有效推动技术转入地低碳技术创新水平的整体提升。而学研机构作为公共物品提供者,其STI低碳技术转移具有开放性、公益性特征,且正外部性强、排他性弱。同时,学研机构通常在创新网络中占据关键节点位置,是创新主体联系的重要“桥接者”,其接触信息与知识、掌握创新网络资源的能力突出,更有助于促进创新主体间的知识溢出^[52],并依托其创新网络资源间接帮助企业开展低碳技术转移。

除了核心变量,控制变量的系数也总体显著,且符合预期。技术吸收能力(TAC)的估计系数显著为负,反映出相对较好的本地低碳技术基础将有助于推动低碳技术转移转变为本地低碳技术创新能力。第二产业是碳排放的主要来源,产业结构(IND)的估计系数显著为正,反映出较高的第二产业比重不利于区域碳排放降低。人均GDP(PGDP)的估计系数显著为负,其原因在于随着经济发展水

表4 2005—2019年碳排放强度的Moran's *I*指数Table 4 Moran's *I* index of carbon emission intensity, 2005-2019

年份	Moran's <i>I</i>	<i>p</i> -value*	年份	Moran's <i>I</i>	<i>p</i> -value*	年份	Moran's <i>I</i>	<i>p</i> -value*
2005	-0.034	0.000	2010	-0.037	0.000	2015	-0.040	0.000
2006	-0.037	0.000	2011	-0.040	0.000	2016	-0.043	0.000
2007	-0.037	0.000	2012	-0.038	0.000	2017	-0.025	0.000
2008	-0.038	0.000	2013	-0.038	0.000	2018	-0.052	0.000
2009	-0.033	0.000	2014	-0.042	0.000	2019	-0.054	0.000

表5 空间计量模型回归结果

Table 5 Regression results of the spatial econometric models

变量	OLS	SAR	SEM	SDM
	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)
<i>lnPATSTI</i>	-0.026*** (0.006)	-0.020*** (0.006)	-0.022*** (0.006)	-0.021*** (0.006)
<i>lnPATDUI</i>	-0.030*** (0.004)	-0.008*** (0.004)	-0.009** (0.004)	-0.010** (0.004)
<i>lnTAC</i>	-0.044*** (0.005)	-0.006 (0.004)	-0.010** (0.005)	-0.011** (0.005)
<i>lnIND</i>	0.081*** (0.019)	-0.004 (0.017)	-0.016 (0.019)	0.044* (0.024)
<i>lnPGDP</i>	-0.059*** (0.005)	-0.013*** (0.005)	-0.015*** (0.005)	-0.009** (0.005)
<i>lnPD</i>	0.022 (0.015)	0.017 (0.013)	-0.005 (0.014)	-0.021* (0.012)
<i>lnER</i>	-1.354*** (0.067)	-0.286*** (0.067)	-0.278*** (0.074)	-0.246*** (0.074)
<i>rho</i>		0.831*** (0.025)	0.926*** (0.013)	0.629*** (0.065)
时间固定	YES	YES	YES	YES
城市固定	YES	YES	YES	YES
<i>sigma2_e</i>	0.206*** (0.001)	0.033*** (0.001)	0.033*** (0.007)	0.033*** (0.001)
<i>AR</i> ²	0.410	0.460	0.336	0.505
<i>N</i>	4260	4260	4260	4260

注:***、**、*分别表示在1%、5%和10%水平上显著,括号内为标准误差,下同。

平提高,碳排放强度通常也随之下降。人口密度(*PD*)的估计系数显著为负,人口不仅反映了人力资本水平,也是低碳技术流动的载体和低碳技术吸收转化能力的构成要素;同时,人口密度大的城市,通常其经济发展水平、技术创新水平也相对较高,碳排放强度相对较低。环境规制(*ER*)的估计系数显著为负,环境规制政策的执行和严厉程度不断增加,将导致污染型企业边际成本不断接近社会边际成本;企业出于对长期性强环境规制预期和长远发展利益的考虑,将加大低碳技术创新投入,并寻求外部低碳技术转入,提升企业低碳技术创新能力,进而促进本地碳排放水平的降低。

4.3 稳健性检验

空间面板回归结果与OLS回归结果基本一致,在一定程度上说明了回归结果的稳健性。为了进一步验证中国城际低碳技术转移对碳减排的作用

是否稳健,本文分别替换被解释变量和缩短时间窗口进行稳健性检验。使用碳排放总量替换被解释变量,考虑到2010—2019年STI低碳技术转移量占其2005—2019年总量的97.5%,2010—2019年DUI低碳技术转移量占其2005—2019年总量的96.9%,将样本期调整为2010—2019年,并重新进行SDM模型估计。从模型(1)–(2)可见,各项指标的系数显著性及方向基本不变,说明空间面板回归结果稳健(表6)。

4.4 区域异质性分析

由于中国各地区技术水平、经济基础、环境规制水平等存在差异,低碳技术转移对不同地区碳排放降低产生的效果不同。因此,本文将全国城市分为东部、中部、西部和东北4类,进行区域异质性分析,检验结果见表7。

从模型(1)可见,东部地区STI和DUI两种低碳

2023年4月

表6 稳健性检验结果

Table 6 Robustness test results

变量	替换变量:碳排放总量	缩短时间窗口:2010—2019年
	模型(1)	模型(2)
$\ln PATSTI$	-0.032*** (0.006)	-0.019*** 0.006
$\ln PATDUI$	-0.008* (0.004)	-0.009* (0.005)
控制变量	YES	YES
ρ	0.134*** (0.006)	0.708*** (0.068)
时间固定	YES	YES
城市固定	YES	YES
σ^2_e	0.044*** (0.001)	0.028*** (0.001)
N	4260	4260

技术转移的估计系数均在1%水平显著为负,说明东部低碳技术转移显著促进了碳排放强度降低。从模型(2)可见,中部地区STI低碳技术转移总体促进了碳减排,但DUI低碳技术转移的作用不显著,来自企业的低碳技术转移对碳减排贡献仍然有限。从模型(3)可见,西部地区STI和DUI两种低碳技术转移对碳减排均具有积极作用,但 $\ln PATDUI$ 的显著性相对较弱,仅在10%水平上显著。而模型(4)显示,东北地区低碳技术转移对碳减排的作用仍然总体不显著,仅 $\ln PATSTI$ 的估计系数在10%水平上显著为负,反映出东北地区企业间低碳技术转

表7 分区域空间面板回归结果

Table 7 Subregional spatial panel data regression results

变量	东部	中部	西部	东北
	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)
$\ln PATSTI$	-0.019*** (0.007)	-0.040** (0.011)	-0.035** (0.015)	-0.025* (0.014)
$\ln PATDUI$	-0.017*** (0.006)	-0.008 (0.007)	-0.016* (0.009)	0.001 (0.010)
控制变量	YES	YES	YES	YES
ρ	-0.541*** (0.145)	0.676*** (0.058)	0.560*** (0.080)	-0.559*** (0.086)
时间固定	YES	YES	YES	YES
城市固定	YES	YES	YES	YES
σ^2_e	0.023*** (0.001)	0.032*** (0.001)	0.037*** (0.001)	0.021*** (0.001)
N	1290	1200	1260	510

移水平可能相对较低,难以为碳减排提供足够支持。以上说明H4成立。其原因可能有三方面:①东部地区网络状的低碳技术转移格局更有利于各地获取外部低碳技术,增强本地低碳技术创新水平,为碳排放强度降低提供了技术基础;而中西部地区及东北地区为“星芒状”的低碳技术转移格局,导致低碳技术转移高度集聚在中心城市,欠发达城市缺乏有效的低碳技术转入通道,难以实现低碳技术更新与技术改造升级。②东部地区低碳技术资源丰富,拥有一大批从事绿色低碳技术创新的企业、高校、科研院所,这为STI和DUI低碳技术转移提供了良好的载体,也为将外部技术转化为本地低碳技术水平和碳减排能力提供了重要支撑;而中西部及东北地区低碳技术基础相对薄弱,强调经济利益的东部地区企业及本地周边发达地区企业相对缺乏向中西部及东北地区低碳技术转移的积极性,STI低碳技术转移成为获取外部技术的有效途径。③东部地区产业经济水平相对较高,绿色低碳意识及环境规制力度较强,通过积极推动产业绿色低碳转型,有效激励了STI和DUI低碳技术转移,进而促进了碳排放持续降低;而中西部地区及东北地区产业结构相对落后,地方政府及企业绿色低碳理念相对落后,体制机制存在诸多不足,企业间开展DUI低碳技术转移缺乏足够动力。

5 结论与政策建议

5.1 结论

本文基于知识学习与技术学习“二分法”视角,以2005—2019年中国城际低碳技术专利转移数据为基础,以全国284个地级以上城市为研究对象,探讨知识学习(STI)和技术学习(DUI)两种低碳技术转移模式对碳减排的影响,分析中国城际低碳技术转移格局,并构建空间计量模型对STI和DUI两种低碳技术转移及对碳排放的影响进行实证检验。研究得出以下结论:

(1)中国城际低碳技术转移水平与碳排放强度存在空间错位。中国低碳技术转移水平不断提高,但整体水平依然偏低,大量城市在低碳技术转移网络中被边缘化;低碳技术转移网络呈等级层次性和“强—强联系”特征,并表现为以京津冀、长三角、珠

三角、成渝、长江中游等城市群为“核心”、经济欠发达城市为“边缘”的“核心—边缘”结构。其中,STI低碳技术转移集聚于京津冀、长三角城市群以及东北地区 and 中西部地区的中心城市,DUI低碳技术转移主要集聚于三大城市群、中西部地区中心城市和西部地区能源消费密集城市。中国城市碳排放整体呈现北高南低的地理格局,且碳排放强度变化南北分化有所加剧,内蒙古、陕西、辽宁、黑龙江等是高碳排放强度城市数量主要增长区域。当前低碳技术转移水平与碳排放强度的空间错位现象不利于低碳技术资源优化配置,也不利于欠发达地区通过获取外部低碳技术资源摆脱低技术锁定和高碳发展锁定。

(2)中国城际低碳技术转移对技术转入地碳排放降低具有积极影响,但因技术转移方式不同存在差异。城际低碳技术转移将优化低碳技术资源配置效率,推动各地低碳技术水平及碳减排能力整体提升,进而促进碳排放降低。其中,DUI低碳技术转移为企业间获取外部技术提供了重要通道,与一般技术转移活动中企业占据主导有所不同,STI低碳技术转移对碳排放降低的影响相对更强;STI低碳技术转移具有公益性、正外部性强、排他性弱等特征,科研机构发挥着知识流动和创新主体联系“桥接者”的作用,有助于弥补DUI低碳技术转移的市场失灵,为欠发达地区获取外部技术提供了有效渠道。

(3)中国城际低碳技术转移对碳排放的影响存在区域异质性,对经济发达地区具有积极影响,对经济欠发达地区影响相对有限。东部地区低碳技术转移网络发育较成熟,且技术基础、环境规制、产业基础相对较好,STI和DUI低碳技术转移均显著促进了碳排放降低。中西部及东北地区STI低碳技术转移对碳排放降低具有积极影响,DUI低碳技术转移的影响总体相对较弱或不显著,当前低碳技术转移难以满足低碳技术需求。

5.2 政策建议

基于研究结论,本文提出以下政策建议:

(1)积极构建多中心、多层次低碳技术转移网络体系。一方面,结合各城市低碳技术需求,优化

全国技术转移体系和空间布局体系,缓解技术供需空间错配问题,促进低碳技术供需有效对接。另一方面,积极推动东部地区三大城市群向东北、中部、西部地区技术水平低、产业结构落后、碳减排压力大的城市开展绿色低碳技术推广应用,帮助其摆脱低技术锁定和高碳锁定;鼓励中西部及东北地区中心城市发挥好“技术守门员”角色,拓展低碳技术转移合作,推动自身及周边城市低碳技术进步。

(2)协同发挥企业与科研机构在低碳技术转移中的作用。一方面,充分发挥科研机构公益性、共享性、开放性优势,弥补企业低碳技术转移的市场失灵;尤其是支持欠发达地区城市建设各类创新合作平台、技术转移办公室等,开展校地合作、院地合作、校企合作,促进低碳技术成果供需精准匹配和高效转移。另一方面,积极发挥DUI低碳技术转移的市场优势,通过建立新型研发机构、技术交易市场、中介机构等,激活低碳技术转移网络,推动低碳技术资源高效配置。

(3)因地制宜推进城际低碳技术转移。一方面,积极推动东部地区建立以城市群为载体的区域创新共同体,推进创新集群内低碳技术转移转化一体化;并以技术转移促合作研发,推动前沿和颠覆性低碳技术创新,增强低碳技术引领辐射与源头供给作用。另一方面,加大对中西部地区及东北地区承接低碳技术转移转化的差异化支持力度,围绕煤炭、电力、钢铁、有色金属、非金属矿物制品等高碳产业需求进行科技成果精准对接,探索低碳技术转移梯度有序转移的利益分享机制和合作共赢模式,加快先进适用低碳技术成果转移转化,推动经济社会绿色低碳转型。

(4)积极完善低碳技术转移服务体系。加快制定全国层面的绿色低碳技术转移实施方案,破解中国当前低碳技术转移零散低效、政策碎片化等问题,系统性地推进低碳技术转移。完善低碳技术交易网络,支持建设一批专业化从事低碳技术交易和技术转化服务的中介机构,提升低碳技术交易服务能力,有效促进低碳技术转移供需端的沟通对接。创新低碳技术转移利益共享机制、对口帮扶援助机制、技术转移投入机制、科技成果市场化评价机制,

2023年4月

培养专业化技术转移服务人才,为低碳技术跨区域转移营造良好环境。

参考文献(References):

- [1] 顾高翔, 王铮.《巴黎协定》背景下国际低碳技术转移的碳减排研究[J]. 中国软科学, 2018, (12): 8-16. [Gu G X, Wang Z. Research of carbon abatement by international low carbon technology transfer in the context of the Paris Agreement[J]. China Soft Science, 2018, (12): 8-16.]
- [2] Shang Y M, Lyu G Q, Mi Z F. Green technology transfer, environmental regulation, and regional green development chasm: Based on the empirical evidence from Yangtze River Delta[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, DOI: 10.3390/ijerph192113925.
- [3] 刘华军, 邵明吉, 吉元梦. 中国碳排放的空间格局及分布动态演进: 基于县域碳排放数据的实证研究[J]. 地理科学, 2021, 41(11): 1917-1924. [Liu H J, Shao M J, Ji Y M. The spatial pattern and distribution dynamic evolution of carbon emissions in China: Empirical study based on county carbon emission data[J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(11): 1917-1924.]
- [4] Losacker S. The Diffusion of Environmental Innovations: A Geographical Perspective on Lead Markets and Technology Licensing in China[D]. Hanover: Universität Hannover, 2022.
- [5] Stucki T. Which firms benefit from investments in green energy technologies? The effect of energy costs[J]. Research Policy, 2019, 48(3): 546-555.
- [6] Fitjar R D, Rodríguez-Pose A. Firm collaboration and modes of innovation in Norway[J]. Research Policy, 2013, 42(1): 128-138.
- [7] 林兰, 曾刚, 吕国庆. 基于创新“二分法”的中国装备制造业创新网络研究[J]. 地理科学, 2017, 37(10): 1469-1477. [Lin L, Zeng G, Lv G Q. Innovation network of the Chinese equipment manufacturing industry: Based on the dichotomy of innovation[J]. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(10): 1469-1477.]
- [8] 宓泽锋, 尚勇敏, 徐维祥, 等. 长三角创新产学合作与企业创新绩效: 尺度与效应[J]. 地理研究, 2022, 41(3): 647-662. [Mi Z F, Shang Y M, Xu W X, et al. Innovation industry-university cooperation and enterprise innovation performance in the Yangtze River Delta: Scale and effect[J]. Geographical Research, 2022, 41(3): 647-662.]
- [9] 曾婧婧, 温永林, 毕超. 高校技术转移与企业技术转移对区域创新能力的差异性贡献: 技术转移中心的调节作用[J]. 科技进步与对策, 2020, 37(6): 84-91. [Zeng J J, Wen Y L, Bi C. The difference contribution of university technology transfer and enterprise technology transfer to regional innovation ability: Based on the regulation of technology transfer centers[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2020, 37(6): 84-91.]
- [10] Lema A, Lema R. Low-carbon innovation and technology transfer in latecomer countries: Insights from solar PV in the clean development mechanism[J]. Technological Forecasting & Social Change, 2016, 104: 223-236.
- [11] Wiebe K S. Identifying emission hotspots for low carbon technology transfers[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 194(9): 243-252.
- [12] Pigato M A, Black S J, Dussaux D, et al. Technology Transfer and Innovation for Low-carbon Development[M]. Washington: World Bank Group, 2020.
- [13] Rai V, Funkhouser E. Emerging insights on the dynamic drivers of international low-carbon technology transfer[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, 49: 350-364.
- [14] Cirera X, Maloney W F. The Innovation Paradox: Developing-Country Capabilities and the Unrealized Promise of Technological Catch-Up[M]. Washington: World Bank, 2017.
- [15] Ehrlich P R, Holden J P. Impact of population growth[J]. Science, 1971, 171(3977): 1212-1217.
- [16] Ahn S J, Yoon H Y. 'Green chasm' in clean-tech for air pollution: Patent evidence of a long innovation cycle and a technological level gap[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122726.
- [17] Ishak I, Jamaludin R, Abu N H. Green technology concept and implementation: A brief review of current development[J]. Advanced Science Letters, 2017, 23(9): 8558-8561.
- [18] Lorek S, Spangenberg J H. Sustainable consumption within a sustainable economy: Beyond green growth and green economies[J]. Journal of Cleaner Production, 2014, 63: 33-44.
- [19] 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, DOI: 10.1016/j.techfore.2019.119770.
- [20] Gu G X, Wang Z, Wu L Y. Carbon emission reductions under global low-carbon technology transfer and its policy mix with R&D improvement[J]. Energy, 2021, DOI: 10.1016/j.energy.2020.119300.
- [21] Belitski M, Aginskaja A, Marozau R. Commercializing university research in transition economies: Technology transfer offices or direct industrial funding?[J]. Research Policy, 2019, 48(3): 601-615.
- [22] Lundvall B A. Notes on innovation systems and economic development[J]. Innovation and Development, 2011, 1(1): 25-38.
- [23] 叶雷, 曹贤忠, 宓泽锋, 等. 中国高校技术转移网络的时空特征及影响因素: 基于高校-城市二模网络视角[J]. 地理研究, 2023, 42(1): 69-85. [Ye L, Cao X Z, Mi Z F, et al. Spatiotemporal dynamic and influencing mechanism of university technology

- transfer network in China: A university-city bipartite network perspective [J]. *Geographical Research*, 2023, 42(1): 69–85.]
- [24] Li F S, Xu X L, Li Z W, et al. Can low-carbon technological innovation truly improve enterprise performance? The case of Chinese manufacturing companies[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.125949.
- [25] 夏天添, 张振铎, 万鹏宇. “高校-企业”技术转移对企业创新绩效的影响: 来自经验取样法的证据[J]. *科技进步与对策*, 2020, 37(19): 105–112. [Xia T T, Zhang Z D, Wan P Y. Study to “University-Enterprise” technology transfer and innovation performance: Evidence from experience sample methods[J]. *Science & Technology Progress and Policy*, 2020, 37(19): 105–112.]
- [26] Zheng X, Yu H, Yang L. Technology imports, independent innovation, and China's green economic efficiency: An analysis based on spatial and mediating effect[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, (29): 36170–36188
- [27] Duffy J, Ralston J. Innovate versus imitate: Theory and experimental evidence[J]. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 2020, 177: 727–751.
- [28] 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 Y, Wang J J, Cheng Y. Spatiotemporal characteristics of China's industrial carbon emission performance and influence mechanism of technological innovation[J]. *Resources Science*, 2022, 44(7): 1435–1448.]
- [29] 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, (8): 1–7. [Liu R H, Wang G, Huang N, et al. On path of supporting carbon peak and carbon neutralization by science and technology innovation in China[J]. *Social Sciences in Guangxi*, 2021, (8): 1–7.]
- [30] 杨龙志, 刘霞. 区域间技术转移存在“马太效应”吗? 省际技术转移的驱动机制研究[J]. *科学学研究*, 2014, 32(12): 1820–1827. [Yang L Z, Liu X. Is there “Matthew Effect” in regional technology transfer? The driving orientation of inter-regional technology transfer[J]. *Studies in Science of Science*, 2014, 32(12): 1820–1827.]
- [31] 王姣娥, 杜方叶, 景悦, 等. 东北地区城际专利转移的空间: 行业路径与影响因素[J]. *资源科学*, 2022, 44(2): 365–374. [Wang J E, Du F Y, Jing Y, et al. Spatial-industry paths of technology transfer: An empirical study of Northeast China[J]. *Resources Science*, 2022, 44(2): 365–374.]
- [32] 刘承良, 牛彩澄. 东北三省城际技术转移网络的空间演化及影响因素[J]. *地理学报*, 2019, 74(10): 2092–2107. [Liu C L, Niu C C. Spatial evolution and factors of interurban technology transfer network in Northeast China from national to local perspectives[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(10): 2092–2107.]
- [33] Ma R K, Liu F C. Intra-and inter-regional technology transfer and CO₂ emissions in China: Comparing the effects of energy and environmental technologies[J]. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2018, 16(1): 709–723.
- [34] Yu H C, Zhang J Q, Zhang M Q, et al. Cross-national knowledge transfer, absorptive capacity, and total factor productivity: The intermediary effect test of international technology spillover[J]. *Technology Analysis & Strategic Management*, 2022, 34(6): 625–640.
- [35] Iyer G, Hultman N, Eom J Y, et al. Diffusion of low-carbon technologies and the feasibility of long-term climate targets[J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2015, 90: 103–118.
- [36] 王少剑, 黄永源. 中国城市碳排放强度的空间溢出效应及驱动因素[J]. *地理学报*, 2019, 74(6): 1131–1148. [Wang S J, Huang Y Y. Spatial spillover effect and driving forces of carbon emission intensity at city level in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(6): 1131–1148.]
- [37] 王霞, 张丽君, 秦耀辰, 等. 中国高碳制造业碳排放时空演变及其驱动因素[J]. *资源科学*, 2020, 42(2): 323–333. [Wang X, Zhang L J, Qin Y C, et al. Spatiotemporal changes of carbon emissions in high-carbon manufacturing industry in China and driving factors[J]. *Resources Science*, 2020, 42(2): 323–333.]
- [38] 尚勇敏, 曾刚. 科技创新推动区域经济发展模式转型: 作用和机制[J]. *地理研究*, 2017, 36(12): 2279–2290. [Shang Y M, Zeng G. The role and mechanism of scientific and technological innovation in promoting the transformation of regional economic development models[J]. *Geographical Research*, 2017, 36(12): 2279–2290.]
- [39] 齐绍洲, 林岫, 崔静波. 环境权益交易市场能否诱发绿色创新? 基于我国上市公司绿色专利数据的证据[J]. *经济研究*, 2018, 53(12): 129–143. [Qi S Z, Lin S, Cui J B. Do environmental rights trading schemes induce green innovation? Evidence from listed firms in China[J]. *Economic Research Journal*, 2018, 53(12): 129–143.]
- [40] Dietz T, Rosa E A. Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology[J]. *Human Ecology Review*, 1994, 1(2): 277–300.
- [41] 曲建升, 刘莉娜, 曾静静, 等. 中国居民生活碳排放增长路径研究[J]. *资源科学*, 2017, 39(12): 2389–2398. [Qu J S, Liu L N, Zeng J J, et al. A study on growth path for China's household CO₂ emissions[J]. *Resources Science*, 2017, 39(12): 2389–2398.]
- [42] 刘朝, 王梓林, 原慈佳. 结构视域下自主技术创新对工业碳排放的影响及趋势预测[J]. *中国人口·资源与环境*, 2022, 32(7): 12–21. [Liu Z, Wang Z L, Yuan C J. Impact of independent technological innovation on industrial carbon emissions and trend prediction from the perspective of structure[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2022, 32(7): 12–21.]
- [43] 朱泳丽, 丁利杰. 长三角城市群碳排放强度的空间效应及影响因素: 基于产业转移视角[J]. *资源科学*, 2022, 44(7): 1373–1387. [Zhu Y L, Ding L J. Spatial effects and influencing factors of

2023年4月

- carbon emission intensity in the Yangtze River Delta urban agglomeration: An industrial transfer-based perspective[J]. *Resources Science*, 2022, 44(7): 1373–1387.]
- [44] 周灿, 曾刚, 辛晓睿, 等. 中国电子信息产业创新网络演化: 基于SAO模型的实证[J]. *经济地理*, 2018, 38(4): 116–122. [Zhou C, Zeng G, Xin X R, et al. The dynamics of China's electronic information industry innovation networks: An empirical research based on SAO model[J]. *Economic Geography*, 2018, 38(4): 116–122.]
- [45] Mehreen H, Rammal H G, Pereira V, et al. Investigating the influence of absorptive capacity of recipients within cross-border transfer of knowledge: Evidence from emerging markets[J]. *International Marketing Review*, 2022, 39(3): 734–754.
- [46] 何爱平, 安梦天. 地方政府竞争、环境规制与绿色发展效率[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(3): 21–30. [He A P, An M T. Competition among local governments, environmental regulation and green development efficiency[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(3): 21–30.]
- [47] Peng Xin. Strategic interaction of environmental regulation and green productivity growth in China: Green innovation or pollution refuge?[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139200.
- [48] 王康, 李志学, 周嘉. 环境规制对碳排放时空格局演变的作用路径研究: 基于东北三省地级市实证分析[J]. *自然资源学报*, 2020, 35(2): 343–357. [Wang K, Li Z X, Zhou J. The effects of environmental regulation on spatio-temporal carbon emissions patterns: Empirical analysis of prefecture-level cities in Northeast China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(2): 343–357.]
- [49] 李虹, 邹庆. 环境规制、资源禀赋与城市产业转型研究: 基于资源型城市与非资源型城市的对比分析[J]. *经济研究*, 2018, 53(11): 182–198. [Li H, Zou Q. Environmental regulations, resource endowments and urban industry transformation: Comparative analysis of resource-based and non-resource-based cities[J]. *Economic Research Journal*, 2018, 53(11): 182–198.]
- [50] 钟茂初, 李梦洁, 杜威剑. 环境规制能否倒逼产业结构调整? 基于中国省际面板数据的实证检验[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(8): 107–115. [Zhong M C, Li M J, Du W J. Can environmental regulation force industrial structure adjustment? An empirical analysis based on provincial panel data[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(8): 107–115.]
- [51] 邵帅, 李欣, 曹建华, 等. 中国雾霾污染治理的经济政策选择: 基于空间溢出效应的视角[J]. *经济研究*, 2016, (9): 73–88. [Shao S, Li X, Cao J H, et al. China's economic policy choices for governing smog pollution based on spatial spillover effects[J]. *Economic Research Journal*, 2016, (9): 73–88.]
- [52] 万媛媛, 王秋玉, 曾刚, 等. 高校与生物医药企业创新结网的影响机制: 以长三角为例[J]. *经济地理*, 2022, 42(7): 146–158. [Wan Y Y, Wang Q Y, Zeng G, et al. Influencing mechanism of formation of innovation network between universities and biomedical firms: A case study of Yangtze River Delta[J]. *Economic Geography*, 2022, 42(7): 146–158.]

Impact of intercity low-carbon technology transfer on carbon emission reduction in China:

Based on the “dichotomy” of knowledge learning and technology learning

SHANG Yongmin¹, MI Zefeng², ZHOU Can³, LIN Lan⁴

(1. Institute of Ecology and Sustainable Development, Shanghai Academy of Social Sciences, Shanghai 200020, China; 2. School of Economics, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China; 3. School of Economics, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China; 4. Institute of Urban and Population Development, Shanghai Academy of Social Sciences, Shanghai 200020, China)

Abstract: [Objective] Increasing the transfer of low-carbon technology (LCT) is the key to narrowing the gap in LCT between regions and improving the overall level of low-carbon technology of China. This study aims to explore the relationship between LCT transfer and carbon emission reduction, as well as the impact of knowledge learning and technical learning on China's carbon emissions, in order to find an effective LCT transfer path. **[Methods]** Inspired by

innovation dichotomy, LCT transfer can be divided into two innovation cooperation models—STI (Science, Technology, Innovation) and DUI (Doing, Using, Interacting), corresponding to knowledge learning and technology learning, respectively. Based on the data of intercity LCT patent transfer of 284 cities in China from 2005 to 2019, this study analyzes the pattern of China's intercity low-carbon technology transfer, and explored the impact of STI and DUI on carbon emissions by using spatial econometric models. **[Results]** The research showed that: (1) China's inter-city LCT transfer has the characteristics of high concentration and hierarchy, which presents a "core-periphery" structure with the main urban agglomerations in the country as the "core" and other cities as the "periphery". However, the overall carbon emissions presented a geographical pattern of high in the north and low in the south. (2) China's intercity low-carbon technology transfer has a positive impact on the carbon emission reduction of the place where the technology is transferred, but there are differences due to the way of technology transfer. Among them, technology transfer based on knowledge learning has a relatively stronger impact on carbon emission reduction. (3) Knowledge learning and technology learning both had positive effects in economically developed cities, but only knowledge learning has a positive impact in economically underdeveloped cities. All cities need to follow the law of heterogeneous LCT transfer and promote the efficient allocation of LCT resources. **[Conclusion]** There was a spatial mismatch between the level of LCT transfer and carbon emission intensity in cities China. Technology transfer based on knowledge learning can effectively compensate for the market failure of that based on technology learning. There was regional heterogeneity in the impact of China's intercity LCT transfer on carbon emission reduction. Considering the positive impact of LCT transfer, it is necessary to actively build a multi-center, multi-level LCT transfer network, coordinate the role of academic research institutions and enterprises in low-carbon technology transfer, promote intercity low-carbon technology transfer in accordance with regional conditions, and actively improve the low-carbon technology transfer service system.

Key words: low-carbon technology transfer; knowledge learning; technology learning; carbon emissions; Spatial Durbin Model; China