

中国低碳城市建设的创新驱动效应评估 ——兼论多重嵌套试点示范机制的完善

宋德勇¹ 李项佑¹ 李超¹ 岳鸿飞²¹

(1. 华中科技大学 经济学院, 湖北 武汉 430074;

2. 北京大学 经济学院, 北京 100871)

【摘要】: 以中国分批次、分地区进行的低碳城市试点作为准自然实验, 利用 277 个城市 2003—2017 年面板数据和双重差分模型, 对低碳城市建设影响低碳技术创新的效应与机理进行系统经验考察。研究发现: (1) 自上而下指定产生、试点单位以省为主的第一批低碳城市试点并未有效促进低碳技术创新, 而自下而上申报遴选、试点单位以城市为主的第二批试点则显著推动了低碳技术进步; (2) 政策效应机理是加大政策性研发补贴支持力度, 而增加研发从业人员数量和提高经济集聚程度的传导机制并不明显; (3) 环境规制、城市规模和资源禀赋均具有调节作用, 对于环保重点城市、“两控区”城市、碳交易试点城市、规模较大城市和资源丰裕程度较低的城市而言, 低碳城市建设对低碳技术创新的促增作用更加显著。

【关键词】: 低碳城市 创新驱动 低碳技术创新 双重差分

【中图分类号】: F290 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1001-7348(2020)22-0028-10

0 引言

中国的经济改革和贸易开放加速了工业化进程并带来显著的城市化效应, 1978—2018 年 40 年间城市化率由 17.92% 快速提升至 59.58%。城市化推进产生了集聚效应, 推动经济中高速增长, 但也加剧了生产要素的拥堵效应。一方面, 城市化建设需要大量基础设施承载, 客观上推动了钢铁、水泥、煤炭等高耗能、高污染行业扩张, 引发环境污染问题^[1-2]。另一方面, 城市生产模式和生活方式带来了高度集中的能源消耗, 使城市成为温室气体排放的主要空间载体。2015 年, 中国城市居民电力、汽油、天然气消费量分别达到农村居民的 1.3 倍、3 倍、60 倍, 不到 60% 的城市人口贡献了超过 85% 的能源消费^[3]。随着碳强度升高, 热岛效应、交通拥堵、空气污染和资源紧缺等城市病不断凸显, 加快转变城市发展模式已迫在眉睫。

党的十八大以来, 探索集约、智能、绿色、低碳的城市发展模式被列为经济建设的重要任务。2015 年中央城市工作会议指出, 要坚持适用、经济、绿色、美观的规划理念, 改善城市生态环境, 着力解决城市病。2019 年国务院政府工作报告进一步强调, 提高新型城镇化质量, 提升城市规划设计和治理能力, 把生态文明理念全面融入城镇化。在上述背景下, 探寻符合中国国情的城市发展

作者简介: 宋德勇(1966-), 男, 湖北松滋人, 博士, 华中科技大学经济学院副院长、教授、博士生导师, 研究方向为发展经济学; 李项佑(1996-), 男, 河南周口人, 华中科技大学经济学院硕士研究生, 研究方向为区域经济学; 李超(1992-), 男, 湖北襄阳人, 华中科技大学经济学院博士研究生, 研究方向为资源环境经济学; 岳鸿飞(1990-), 男, 北京人, 博士, 北京大学经济学院博士后、助理研究员, 研究方向为新型城镇化与绿色发展。

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(18ZDA050)

模式,不仅能更好地贯彻创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念,也有利于科学指导城市化推进的模式选择和时序安排。

作为一种绿色环保、紧凑集约的城市发展模式,低碳城市(Low carbon city)能够通过培育低碳产业、发展循环经济、使用清洁能源和推广可持续交通等手段,改善经济发展与能源环境的耦合关系,推动低碳绿色转型^[4-5]。作为中国应对气候变化战略的重要组成部分,国家发改委先后在 2010、2012 和 2017 年分 3 批启动了低碳城市试点工作,目的是通过先期试点探索经济增长与碳排放脱钩的可行模式,进而为全域节能减排与绿色发展提供经验支持。

目前,学界对低碳城市的研究可以分为两类:①通过跨学科、多领域的思辨性探讨,系统总结低碳城市的内涵、建设模式和政策手段;②运用实证手段对低碳城市试点绩效进行评价,量化评估低碳城市的外部效应^[6-8]。值得强调的是,尽管现有研究对低碳城市建设的能源、环境和经济效益进行了较为丰富的经验考察,但少有研究关注到低碳城市建设如何影响创新活动,尤其是尚未揭示低碳城市建设影响低碳技术创新的效应与机理。事实上,就解决环境污染问题、推动城市低碳转型和加快经济绿色发展而言,低碳技术创新均具有前瞻引领的基础性作用。因此,系统合理地考察中国低碳城市建设的低碳技术创新驱动效应兼具学术价值和现实意义。

本文将中国 2010 年开始分地区、分批次试点的低碳城市视为准自然实验,以 CPC-Y02 分类标准的每万人低碳专利申请量作为低碳技术创新的度量指标,使用 2003—2017 年中国 277 个城市面板数据,运用双重差分模型就低碳城市建设对低碳技术创新的影响及其机制进行经验考察。本文的边际贡献体现在 3 个方面:①从研究视角看,首次准确评估了中国低碳城市建设的低碳技术创新驱动效应,并从人力资本、经济集聚、研发补贴等角度廓清了低碳城市建设影响低碳技术创新的逻辑过程,为政府实施绿色低碳城市规划和引导创新驱动发展提供了经验支持;②从政策评价角度出发,比较了自上而下指定与自下而上申报两种试点产生方式的政策效应,论证了渐进式增量改革过程中完善“试点—扩散—推广”多重嵌套试点示范机制的必要性,在公共政策过程和政策创新扩散领域具有重要文献贡献;③数据指标方面,依据欧洲专利局(EPO)与美国专利局(USPTO)联合公布的合作专利分类系统(CPC)中减缓气候变化技术(CCMTs)的分类号,通过整理城市层面低碳专利数据度量低碳技术创新,为低碳创新主题研究提供了有益借鉴。

1 政策背景与文献综述

1.1 政策背景

作为全球温室气体排放大国,2018 年中国碳排放总量占全球 27.2%。与此同时,中国长期致力于构建低碳经济发展方式,寻求节能减排与经济发展“珠联璧合”的双赢路径,避免在工业化和城市化过程中被“高碳锁定”,并确定了阶段性碳减排目标。在哥本哈根世界气候大会上,中国承诺 2020 年将碳排放强度较 2005 年降低 40%~45%;依据联合国气候变化框架发布的《强化应对气候变化行动——中国国家自主贡献》,中国提出 2030 年单位国内生产总值二氧化碳排放较 2005 年下降 60%~65%的目标。

城市既是温室气体排放与环境污染的主要空间载体,也是发展低碳经济、实现绿色转型的基本行政单元。为推动落实控制温室气体排放行动目标,中国开始分批次、分地区探索试点低碳城市建设。2010 年 7 月,国家发改委下发《关于开展低碳省区和低碳城市试点工作的通知》,确定首先在广东、辽宁、湖北、陕西等省份和天津、重庆、深圳、厦门等城市开展试点工作。第一批试点区域的碳排放总量约占全国的 54.16%,推进方式以省为主、城市为辅,由试点地区自主编制低碳发展规划,探索先行经验。2012 年 11 月,国家发改委下发《国家发展改革委关于开展第二批低碳省区和低碳城市试点工作的通知》,确立石家庄、秦皇岛等 28 个城市为第二批低碳城市试点,由于第一批试点省份面积过大,导致开展不便,第二批试点推进以城市为主,并进一步建立控制温室气体排放目标责任制。2017 年 1 月,国家发改委发布《国家发展改革委关于开展第三批国家低碳城市试点工作的通知》,确定在 45 个城市(区、县)开展第三批低碳城市试点,鼓励更多城市因地制宜探索低碳绿色发展的经验模式,并在前期工作任务基础上,建立二氧化碳排放目标考核制度,要求设定二氧化碳排放峰值。

需要特别指出的是, 尽管低碳城市试点工作仍然遵循“试点—扩散—推广”的多重嵌套试点示范机制, 但不同批次的产生方式并不相同^[9]。具体而言, 第一批试点产生方式属于中央政府自上而下指定, 第二批和第三批试点产生则增加了自主申报和专家评审环节, 综合考虑前期工作、资源禀赋、经济发展和区域代表性确定, 属于地方政府自下而上自主申报。

尽管低碳城市建设意在推动城市低碳绿色转型, 但并不一定产生促进低碳技术创新的应然结果, 这是由政策属性和客观条件共同决定的。一方面, 与经济领域的其它政策试点相比, 低碳城市政策兼具弱激励和弱约束两种政策属性, 实际效果可能相当有限。在以往的渐进式增量改革试点过程中, 中央政府会为地方政府提供相应的资金支持和政策倾斜, 但在低碳城市试点过程中, 除少数基础能力建设项目配套专项资金外, 国家发改委并未向地方提供财政资源和倾斜政策, 对试点城市激励有限, 因此低碳城市建设成效很大程度上取决于地方重视程度和财政投入力度。同时, 国家并未设置具体节能减排目标责任制度和考核办法, 因此也无法对地方政府开展低碳城市建设进行有力约束, 难以督促市场主体进行绿色研发投资, 诱发低碳技术创新^[10]。另一方面, 试点实际效果依赖于试点城市的创新环境和经济基础。例如, 对于深圳、杭州等东部地区城市而言, 低碳城市建设助推低碳技术创新的成效明显; 对于西北、云贵川和晋陕蒙等地区城市而言, 低碳城市建设缺乏资金投入, 促进低碳技术进步的效果并不明显^[11-14]。

表 1 低碳城市试点名单

试点批次	时间	试点名单	遴选方式
第一批	2010 年 7 月	5 省: 广东、辽宁、湖北、陕西、云南 8 市: 天津、重庆、深圳、厦门、杭州、南昌、贵阳、保定	指定 (非公开遴选)
第二批	2012 年 11 月	3 省 (直辖市): 北京市、上海市、海南省 26 市 (地区): 石家庄市、 秦皇岛市、晋城市、呼伦贝尔市、吉林市、大兴安岭地区、 苏州市、淮安市、镇江市、宁波市、温州市、池州市、南平市、 景德镇市、赣州市、青岛市、济源市、武汉市、广州市、 桂林市、广元市、遵义市、昆明市、延安市、金昌市、乌鲁木齐市	申报+遴选
第三批	2017 年 1 月	45 市: 乌海市、沈阳市、大连市、朝阳市、逊克县、南京市、 常州市、嘉兴市、金华市、衢州市、合肥市、淮北市、黄山市、 六安市、宣城市、三明市、共青城市、吉安市、抚州市、济南市、 烟台市、潍坊市、长阳土家族自治县、长沙市、株洲市、湘潭市、 郴州市、中山市、柳州市、三亚市、琼中黎族苗族自治县、 成都市、玉溪市、普洱市思茅区、拉萨市、安康市、兰州市、敦煌市、 西宁市、银川市、吴忠市、昌吉市、伊宁市、和田市、第一师阿拉尔市	申报+遴选

1.2 文献综述

现有文献主要从 3 个方面量化评估低碳城市建设的政策效应: ①研究低碳城市的环境效益, 证实低碳城市建设不仅有助于减少温室气体排放, 降低城市碳强度^[13-14], 还能促进空气污染防治, 改善生态效率, 增进居民健康福利^[15-17]; ②测度低碳城市建设对能源强度的影响, 该类研究稳健地发现, 低碳城市能够提高能源利用效率, 降低电能消费强度, 加快实现经济增长与高能耗的解耦脱钩^[18-19]; ③实证分析低碳城市的经济效应, 发现低碳城市不仅能促增碳生产力, 减少资源能源消耗, 实现绿色发展^[20], 还可以通过财政政策和产业政策吸引外商直接投资, 推动产业结构朝着高级化、低碳化和服务化方向升级^[21]。

与本文密切相关的是, 部分文献尝试识别低碳城市建设的创新驱动效应。如李林红等^[22]以制造业企业为样本, 发现低碳城市

建设有利于提高企业技术创新能力,增加其知识产权数量;逯进和王晓飞^[23]以城市创新指数和创业指数作为技术创新的度量指标,发现低碳城市建设通过增加科技人才数量和政策性研发投入以及加快产业结构升级,提升城市技术创新水平;章文光和马振涛^[24]基于案例发现,低碳城市试点推动了地方政府在规划体系、组织架构、社会参与等领域的制度创新。不难发现,尽管少数研究就低碳城市建设影响创新活动开展实证分析,但对低碳城市建设影响低碳技术创新的效应和机理尚未提供稳健的理论解释与实证检验,从而难以科学评估低碳城市建设的政策效应。

1.3 机制分析

基于现有文献和经济逻辑,本文认为低碳城市建设对低碳技术创新具有促增效应,并存在以下机制途径:首先,规模集聚效应。低碳城市建设可以放缓城市建设用地供给,抑制城市空间无序蔓延,提高土地集约利用效率,加速经济要素向心集聚,推动城市形态朝着紧凑集约型模式发展,进而通过强化技术溢出、知识共享和要素匹配实现规模经济和集聚效应,诱致低碳技术创新^[25]。其次,资金配置效应。在低碳城市建设过程中,地方政府通过调整财政支出结构,以契合城市绿色低碳转型发展需求。具体而言,地方政府可以通过增加科技支出规模、加大研发补贴力度等,实施政策性、偏向性科技政策,激励企业开展技术攻关、提高研发创新效率,从而推动低碳技术进步^[26]。最后,人力资本效应。低碳城市建设将引领城市经济绿色转型,加速污染密集型、高耗能产业淘汰,并驱动制度安排和产业结构相应调整,创造高知识、高技能劳动需求,倒逼地方政府完善招才、引才和用才机制,推动科技人才队伍壮大和劳动力质量提升,从而为低碳技术创新提供智力支持。

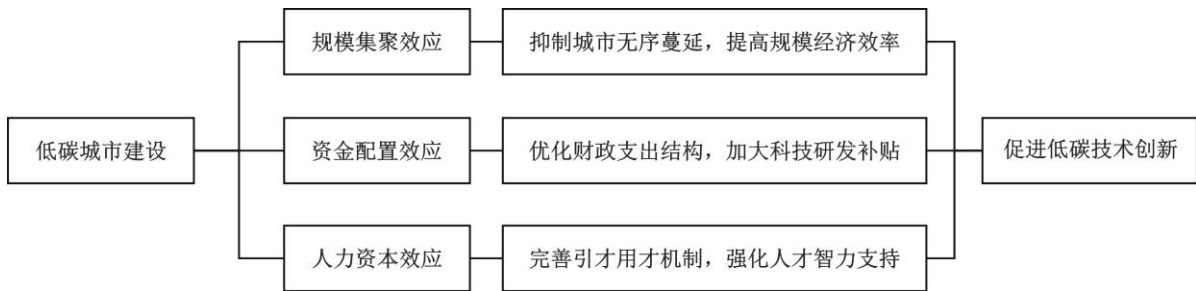


图1 低碳城市建设推动低碳技术创新的途径机制

2 模型与数据

2.1 模型选择

中国自2010年以来分批次、分地区探索建设低碳城市的政策实践,为运用双重差分模型评估低碳试点城市建设的低碳创新驱动效应构造了良好的准自然实验。参照刘瑞明和赵仁杰^[27]的处理方式,本文将低碳试点城市获批建设当年及以后的政策虚拟变量项LCC赋值为1,获批之前赋值为0,具体构建如下双向固定效应双重差分模型。

$$lowcarinno_{it} = \beta_0 + \beta_1 LCC_{it} + \alpha X_{it} + \gamma_i + \mu_i + \epsilon_{it} \quad (1)$$

其中, i 、 t 分别表示第 i 个城市和第 t 年;被解释变量 $lowcarinno_{it}$ 为城市每万人低碳专利申请量; X_{it} 为城市特征控制变量,包括经济水平、产业结构、对外开放程度、城市规模、政府干预和环境规制。 γ_i 表示时间固定效应, μ_i 表示地区固定效应, ϵ_{it} 为随机误差项。 β_1 是本文关注的重点,其符号正负和数值大小反映了低碳试点城市建设对低碳技术创新的作用方向及影响程度。

2.2 数据说明

(1) 被解释变量:

低碳技术创新。低碳技术创新度量参照技术创新的 3 类衡量指标:R&D、专利和全要素生产率,分别表征投入、产出和绩效。然而,受限于数据,R&D 和全要素生产率均难以准确度量低碳技术创新。一方面,R&D 数据无法细分至低碳技术领域;另一方面,尽管全要素生产率可以测度技术效率,但不能有效识别低碳特征。专利作为低碳技术创新的度量指标具有天然优势,具体而言,专利数据按其技术领域归类,每一条专利申请都有相对应的国际专利分类号(IPC),可将专利划归至详细技术小类,从而精准识别低碳技术创新活动,排除其它类型技术创新活动干扰。

为合理测度城市低碳技术创新水平,本文进行以下处理:①依据欧洲专利局(EPO)与美国专利局(USPTO)联合公布的合作专利分类系统(CPC)中减缓气候变化技术(CCMTs)编码,检索 Y02 分类(包含建筑业、温室气体处理、能源、商品生产与处理、交通、污水与污染物处理 6 类)的专利数量,以此度量低碳技术创新;②考虑到专利从申请到授权往往耗时 1~3 年,选择申请量能及时准确反映城市创新活动;③考虑到规模较大城市往往会产出更多专利数量,以专利申请总量有偏估计城市创新水平,因此采用每万人专利申请量进行衡量。最终,选择城市当年每万人低碳专利申请量表征城市低碳技术创新水平。此外,按专利技术含量高低划分,发明专利技术水平最高,实用新型专利次之,外观设计专利最低。本文主要考虑发明专利和实用新型专利,并以发明专利与实用新型专利之和和发明专利和实用新型 3 个指标,分别在总体、质量和数量 3 个维度衡量低碳技术创新。

(2) 核心解释变量。

根据国家发改委发布的《关于开展低碳省区和低碳城市试点工作的通知》和《关于开展第二批低碳省区和低碳城市试点工作的通知》中的城市名单,结合低碳城市批复建设时间进行赋值,最终得到低碳城市试点的政策虚拟变量 LCC 作为核心解释变量。

(3) 控制变量。

为控制其它因素的影响,本文选取 6 个影响低碳技术创新的因素作为控制变量:①经济发展水平($\ln\text{pergdp}$),采用城市当年人均地区生产总值(元)的自然对数测度;②产业结构(industry),采用第三产业增加值与第二产业增加值的比值表征;③对外开放程度(fdipro),以经过中间汇率转换的地区实际利用外商投资金额占地区生产总值比重衡量;④城市规模($\ln\text{totalpeo}$),以城市当年常住人口数量(万人)的自然对数测度;⑤政府干预,以地方财政支出占 GDP 比重衡量;⑥环境规制(er),采用各城市工业总产值与工业粉尘、废水及二氧化硫 3 种工业污染物的排放量数据构造环境规制综合指数。

本文采用的绿色专利申请数据来自 incopat 专利数据库,以“CPC-Y02 分类号+申请地所在城市”的指令检索。其它指标数据来源于历年《中国统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国环境年鉴》。为消除通货膨胀的影响,所有涉及到货币价值的经济变量均以 2002 年为基期进行平减处理。部分缺失数据采用查阅各省份统计年鉴以及使用插值法的方式进行填补。

3 实证结果

3.1 基准回归

本文对自上而下指定和自下而上申报两种试点产生方式的政策效应进行比较分析。不同批次低碳城市试点效果具有明显的异质性。具体而言,第一批试点的估计系数为正但不显著,表明该批次低碳城市建设并未推动低碳技术创新;第二批试点的估计系数均在 5%的水平上显著为正,且发明专利的激励效应大于实用新型。这说明自上而下的政策试点旨在通过先试先行实践探索,在政策空白领域探索可复制经验,往往在实施过程中缺乏必要的目标约束和行为指引,其试点绩效存在不确定性;自下而上的政策

试点旨在完善先试先行的经验举措,形成扩散辐射的示范效应,往往能实现试点预期目标。以上发现不仅证实了构建经济增长与资源、能源消耗解耦脱钩的城市发展模式,有利于实质性诱发低碳技术创新,从而推动绿色转型,也表明在中国经济渐进式增量改革和公共政策创新扩散过程中,应重视完善“试点—扩散—推广”多重嵌套试点示范机制。

控制变量的回归结果表明,现阶段产业结构高度化演进和城市规模提升,能够提高资源配置效率,强化知识共享和要素匹配,促增低碳技术创新;经济粗放型发展阶段,招商引资过程中存在污染引进现象,一定程度上诱发了“污染避难所”效应,对低碳技术创新产生锁定效应和挤出效应;行政命令型环境规制和过度政府干预推高了企业环境遵循成本,挤出了绿色研发投入,因而无法引导和激励企业开展低碳技术创新。

3.2 平行趋势与动态效应检验

使用双重差分模型获得无偏估计,依赖于处理组和对照组在政策冲击前不存在时间趋势差异,即满足平行趋势假设。为更严谨地证明以上结论的稳健性,并具体刻画政策冲击在不同时段的影响,本文借鉴 Jacobson 等^[28]提出的事件研究法(Event Study Approach),对动态效应进行考察,具体构建模型如下:

$$lowcarinno_{it} = \beta_0 + \sum_{-5 \leq j \leq 5} \beta_j LCC_{i,t-j} + \alpha X_{it} + \gamma_i + \mu_t + \epsilon_{it} \tag{2}$$

其中, $LCC_{i,t-j}$ 表示低碳城市试点实施前后第 $|j|$ 年的哑变量,当处理组城市 i 处在试点批复第 $(t-i)$ 年时,该值取1,反之为0。具体地,本文考察了低碳城市试点前后各5年的政策效果,如表2所示。在低碳城市试点前,处理组和对照组满足平行趋势检验。分批次看,第一批低碳城市试点并未实现低碳技术创新驱动效应,而第二批低碳城市建设则促进了低碳技术创新,且随着时间推移,政策效应逐渐增强,这进一步提高了上文结论的可信度。

表 2 平行趋势与动态效应检验结果

	第一批试点	第二批试点
	Y02	Y02
before_5	-0.105	-0.072
	(-1.331)	(-0.962)
before_4	-0.073	-0.068
	(-0.972)	(-0.749)
before_3	-0.072	-0.006
	(-1.035)	(-0.062)
before_2	-0.056	0.151
	(-0.855)	(1.080)
before_1	-0.002	0.167

	(-0.040)	(1.025)
current	0.045	0.280
	(0.770)	(1.405)
after1	0.085	0.386
	(1.242)	(1.632)
after2	0.077	0.387
	(1.186)	(1.644)
after3	0.012	0.488*
	(0.229)	(1.786)
after4	-0.043	0.537
	(-0.911)	(1.583)
after5	-0.055	0.610*
	(-1.304)	(1.824)
_cons	-15.103***	7.928
	(-2.811)	(1.345)
控制变量	是	是
地区效应	是	是
时间效应	是	是
Obs.	3795	3165
R-squared	0.428	0.394

3.3 稳健性检验

(1) 倾向得分匹配处理 PSM-DID。

为消除样本选择偏差, 本文选择经济发展水平、产业结构、对外开放程度、城市规模、国有干预程度和环境规制作为协变量, 在倾向得分匹配 (PSM) 基础上使用 DID 方法估计政策处理效应。由表 3 可知, 经过 PSM 处理后的回归结果仍与基准回归保持一致, 即第一批低碳试点城市并未实质性推动低碳技术创新, 而基于科学论证、合理布局的第二批试点则取得了显著的低碳创新驱动效应。

(2) 剔除弱内生性样本。

低碳城市试点的选取并非随机,而是参照城市等级、经济水平和区域代表性等因素进行选择,这些城市特征会潜在影响研究结论的稳健性。例如,直辖市、省会城市往往集聚了更多经济要素和创新资源,因而具有更高的低碳技术创新水平。为排除这一竞争性假说,确保低碳技术创新驱动效应是由试点政策本身引致,而不受其它因素干扰,本文分别剔除直辖市和省会城市样本。

(3) 缩短事件窗口。

考虑 2008 年部分省区推行二氧化硫排污权交易制度和 2017 年批复设立第三批低碳试点城市的潜在影响,本文将相关时间样本剔除。

(4) 替换被解释变量。

本文使用城市当年低碳技术创新的专利申请总量作为被解释变量进行回归。无论采用何种代理变量,回归结果均与前文基本一致。

4 拓展性分析

4.1 机制检验

前文研究表明,只有科学选址布局、试点容量合理的第二批低碳城市试点具有促进低碳技术创新的政策效应。进一步,本文选取城市建设用地占比(citylandpro)、地方财政科技支出(lnscitec)和科技从业人员数(lnrdemploy)作为被解释变量,分别表征规模集聚效应、资金配置效应和人力资本效应,以检验低碳城市建设促进低碳技术创新的潜在机制。

表 3 稳健性检验:PSM-DID 估计结果

	Variable	Mean Control	Mean Treated	Diff.	t	Pr(T > t)
第一批试点	Y02	0.127	0.130	0.003	0.20	0.8417
	invention	0.072	0.066	-0.006	0.62	0.5361
	practical	0.055	0.064	0.009	1.31	0.1904
第二批试点	Y02	0.268	0.311	0.043	1.70	0.0893*
	invention	0.157	0.195	0.038	2.27	0.0233**
	practical	0.111	0.116	0.004	0.50	0.6178

表 4 结果显示,资金配置效应的系数均在 5%的水平下显著为正,规模集聚效应和人力资本效应的系数则不显著。这表明,低碳城市建设有助于抑制城市无序蔓延,推动城市形态朝着紧凑集约型方向发展,通过集聚效应和规模经济实现低碳技术创新,但这种影响相当有限。同时,在低碳城市建设过程中,加大政策性研发补贴力度,将有力强化产学研平台和创新孵化基地建设,吸引企业开展清洁、绿色和低碳技术创新,从客观上推动低碳技术进步。此外,低碳城市建设将引领城市经济绿色转型,驱动产业结构转型升级,创造高知识、高技能劳动需求,从而增加研发从业人员数量,为开展低碳技术创新铺垫人才基础。

4.2 异质性探讨

(1)环境规制。

根据波特假说,适当的环境规制会促使企业进行技术创新或采用创新性技术^[29]。因此,低碳城市建设能够使高污染、高耗能企业面临严格的环境约束,使其为降低治污成本、提高利润而被迫进行技术创新。但事实上,这种倒逼效应的实现依赖于地方环境行政水平和环境司法效率^[30]。具体而言,如果低碳试点城市被列为环保重点城市、“两控区”和非资源型城市,则环境行政和司法体制更健全,环境规制执行更为严格,那么试点政策会更有效地落地推进,绿色发展理念对制度安排、资源配置的指导作用更强,从而引导企业增加节能减排领域的技术研发投资。由表 5 可知,环保重点城市、“两控区”城市和碳交易试点城市低碳技术创新的激励效应更加显著。这表明,在低碳城市建设过程中,区域规划与环境政策具有“珠联璧合”的协同效应。

表 4 机制检验结果

	(1)	(2)	(3)
	citylandpro	scitecpro	rdemploy
LCC	-0.400	0.048**	0.369
	(-0.344)	(2.181)	(1.183)
lnpergdp	6.874*	0.078	-2.805
	(1.891)	(0.676)	(-1.171)
industry	0.007**	0.000*	0.005*
	(2.071)	(1.759)	(1.667)
fdipro	-0.074	-0.008***	-0.034
	(-0.804)	(-3.168)	(-1.500)
lntotalpeo	-5.619	0.424**	2.433*
	(-1.174)	(1.993)	(1.748)
fiscalpro	-0.026	0.001	-0.012*
	(-1.268)	(1.173)	(-1.686)
regulation	-0.023	0.005**	0.022
	(-0.262)	(2.050)	(0.959)
_cons	-22.365	-3.189**	11.834
	(-0.485)	(-2.164)	(0.737)
地区效应	是	是	是
时间效应	是	是	是
Obs.	3165	3165	3165

R-squared	0.028	0.315	0.102
-----------	-------	-------	-------

(2) 城市规模。

一般而言,城市化实现了人力资本的空间集聚,并通过要素匹配、技术溢出和知识共享诱发创新活动^[31]。因此,规模较大、人力资本丰富的城市往往更能把握低碳城市试点政策机遇,实现低碳技术创新。进一步,本文依据国务院《关于调整城市规模划分标准的通知》,对城市规模划分标准进行分类讨论。由于超大城市、小城市样本较少,本文将其与特大城市、中等城市进行合并处理。由表 6 可知,低碳城市试点对低碳技术创新的边际助推效应随城市规模提高呈现出边际递增趋势。这表明,对于规模较大的城市而言,低碳城市建设能够更有效激励引导其利用经济要素和创新资源实现低碳技术创新;对于人力资本较少、研发投入力度支持有限的中小城市而言,其更倾向于低碳技术集成应用,因此创新驱动效应并不显著。

(3) 资源丰裕程度。

“资源诅咒”理论表明,良好的自然资源禀赋不会必然带动地区繁荣发展,反而可能因其挤出效应拖累经济增长和技术创新^[32]。因此,对于自然资源较为丰裕的城市而言,低碳城市建设激励低碳技术创新的政策效应可能较弱。为验证这一设想,本文将样本划分为非资源型城市、资源型城市和资源枯竭型城市 3 类进行检验。由表 7 可知,随着城市资源丰裕程度提高,低碳城市建设的政策效应呈现出边际递减的规律特征。这一事实表明,自然资源丰裕程度越高,劳动力、资本等生产要素在资源开采部门与技术研发部门之间配置扭曲程度越严重,资源开采活动对低碳技术创新活动的抑制作用也更严重。因此,资源丰裕对低碳城市建设影响低碳技术创新具有一定负向调节作用。

表 5 环境规制的调节作用

	环保重点	非环保重点	两控区	非两控区	碳交易试点	非碳交易试点
LCC	0.586**	0.196	0.494**	0.452	0.369**	0.489*
	(2.045)	(0.935)	(2.578)	(0.976)	(2.397)	(1.884)
lnpergdp	-2.586**	-1.187*	-2.073***	-1.550	-1.305	-1.785***
	(-2.137)	(-1.766)	(-3.059)	(-1.225)	(-0.909)	(-2.613)
industry	0.004	0.001	0.003**	0.003	0.005	0.003
	(1.285)	(0.854)	(2.615)	(0.937)	(1.466)	(1.310)
fdipro	-0.041	-0.002	-0.076**	-0.008	0.000	-0.042*
	(-1.122)	(-0.118)	(-2.455)	(-0.416)	(0.017)	(-1.677)
lntotalpeo	1.801***	0.211	1.707***	0.607	-1.437	1.346***
	(2.896)	(0.508)	(3.230)	(0.878)	(-0.525)	(3.011)
fiscalpro	-0.065***	-0.007*	-0.041***	-0.008	-0.155***	-0.017**
	(-3.305)	(-1.837)	(-4.572)	(-1.559)	(-6.395)	(-2.248)

regulation	0.043	0.004	-0.014	0.020	-0.019	0.019
	(1.585)	(0.320)	(-0.555)	(1.137)	(-1.062)	(1.058)
_cons	14.012	9.327*	9.404	10.253	22.409	8.403
	(1.069)	(1.891)	(1.435)	(0.986)	(1.044)	(1.330)
地区效应	是	是	是	是	是	是
时间效应	是	是	是	是	是	是
Obs.	1275	1890	1650	1515	180	2985
R-squared	0.499	0.339	0.551	0.267	0.800	0.379

表 6 城市规模的调节作用

	(1)	(2)	(3)
	超大、特大城市	大城市	中等城市、小城市
LCC	0.909***	0.561**	-0.267
	(2.743)	(2.338)	(-0.635)
lnpergdp	-1.039	-1.699***	-2.439
	(-1.320)	(-2.717)	(-0.621)
industry	0.007	0.003*	-0.002*
	(1.526)	(1.696)	(-2.195)
fdipro	-0.077**	-0.060***	0.019*
	(-2.279)	(-2.984)	(1.960)
Intotalpeo	1.289	1.698***	0.130
	(1.111)	(3.617)	(0.169)
fiscalpro	-0.007	-0.016**	0.023
	(-0.789)	(-2.200)	(0.691)
regulation	0.013	0.018	0.040
	(0.535)	(0.975)	(1.151)
_cons	0.715	5.334	22.684

	(0.063)	(0.912)	(0.627)
地区效应	是	是	是
时间效应	是	是	是
Obs.	1215	3000	165
R-squared	0.466	0.409	0.616

表 7 资源丰裕程度的调节作用

	(1)	(2)	(3)
	非资源型城市	资源型城市	资源枯竭型城市
LCC	0.717**	0.075	-0.024
	(2.432)	(0.593)	(-0.233)
lnpergdp	-2.144**	-1.177*	-0.396
	(-2.103)	(-1.697)	(-0.844)
industry	0.003	0.000	-0.000
	(1.188)	(0.551)	(-0.184)
fdipro	-0.035	0.002	-0.015
	(-1.065)	(0.086)	(-0.694)
lntotalpeo	1.169	0.984*	0.011
	(1.579)	(1.876)	(0.067)
fiscalpro	-0.016	-0.013**	-0.013**
	(-1.422)	(-2.254)	(-2.482)
regulation	0.028	-0.024	-0.058
	(1.345)	(-1.301)	(-1.419)
_cons	12.586	5.205	3.779
	(1.097)	(1.023)	(0.864)
地区效应	是	是	是
时间效应	是	是	是

Obs.	1785	1380	555
R-squared	0.456	0.327	0.498

5 结论与政策建议

为有效治理城市病,推动城市从高速规模扩张向高质量发展转型,加快构建生态优先、绿色发展的空间单元载体迫在眉睫。在此背景下,廓清低碳城市试点的政策效应,有助于探索符合中国国情的城市化推进模式,落实节能减排目标,加快经济绿色转型。鉴于此,本文以2003—2017年中国277个城市数据为研究样本,运用双重差分模型系统考察了低碳城市建设对低碳技术创新的影响及作用机制,得到以下结论:①自上而下指定、试点单位以省为主的第一批试点并未有效促进低碳技术创新,而自下而上自主申报、试点单位以城市为主的第二批试点则显著推动了低碳技术创新;②低碳技术创新驱动效应的作用机理是政府增加科技支出规模和加大偏向性研发补贴支持力度,而增加研发从业人员数量和提高经济要素集聚程度的传导机制并不明显;③环境规制、城市规模和资源丰裕程度均具有显著调节作用,对于环保重点城市、“两控区”城市、碳交易试点城市、规模较大城市和资源丰裕程度较低的城市而言,低碳城市建设的创新驱动效应尤为显著。

低碳城市建设具有低碳技术创新驱动效应的研究结论,为中国城市化进程中必须遵循绿色低碳、紧凑集约的城市发展模式以及完善多层嵌套试点示范机制提供了经验证据,据此提出以下政策建议:首先,在低碳城市试点过程中,中央政府应着力完善“试点—扩散—推广”的多重嵌套机制设计,特别是要在科学评估和合理论证的基础上,确定试点产生方式和试点容量大小,确保经验模式能够被系统提炼和扩散推广。同时,建立激励与约束并举的长效机制,加强低碳城市试点专项资金支持,完善碳排放控制责任考核和统计核算体系,倒逼地方政府有效落实低碳城市建设要求。其次,地方政府应强化低碳城市建设的顶层设计和统筹考量,不仅要因势利导发挥“有形之手”的作用,利用研发补贴引导企业进行低碳技术创新,更要注重完善绿色低碳的市场化机制,加强高技能人才培养、引进和使用,优化劳动力就业结构,改善城市基础设施和宜居环境,加快经济要素空间收敛,利用集聚效应和规模经济诱发低碳技术创新,推动节能减排和绿色发展。最后,考虑到环境规制、城市规模和资源丰裕程度的显著调节作用,各级政府应在低碳城市建设过程中应因势利导、合理施策,注重发挥产业政策、环境政策和区域规划的协同互补效应。具体而言,一是要完善命令控制型、市场激励型和社会参与型等环境规制体系,提高环境行政水平和环境司法效率;二是要深化体制改革,放宽落户限制,加快推进人口城市化进程,强化技术溢出、知识共享和要素匹配,丰富低碳技术创新的人力资本;三是要推动资源型城市摆脱“黑色惰性”发展的路径依赖,提升产业结构高级化水平和全球价值链分工地位,加快实现低碳创新驱动发展和经济高质量发展。

本文基于政策过程视角,定量评估了中国低碳城市建设对低碳技术创新的诱发效应,并从作用机制和城市区位两个方面进行拓展性分析,丰富了相关领域文献。然而,本研究也存在一定局限性:①虽采用CPC-Y02分类清单准确识别了低碳创新活动,并对发明专利和实用新型专利进行了分类讨论,但未对建筑业、能源、交通等子类进行检验,尚未廓清对不同行业的异质性影响;②尽管证实了低碳城市建设的正向创新驱动效应,但并未从空间关联视角出发,进一步检验其溢出效应及辐射半径;③创新活动是系统工程,其动力机制相当复杂,本文仅从规模集聚、资金配置和人力资本3个经济链条进行实证检验,其它潜在路径仍有待识别。

参考文献:

- [1]邵帅,李欣,曹建华.中国的城市化推进与雾霾治理[J].经济研究,2019,54(2):148-165.
- [2]HAN L,ZHOU W,LI W,et al.Impact of urbanization level on urban air quality:a case of fine particles (PM_{2.5}) in Chinese cities[J].Environmental Pollution,2014,194(8):163-170.

-
- [3]GROSSMAN G M,KRUEGER.Economic growth and the environment[J].Quarterly Journal of Economics,1995,110(2): 353-377.
- [4]刘志林,戴亦欣,董长贵,等.低碳城市理念与国际经验[J].城市发展研究,2009,16(6):1-7+12.
- [5]PAUL FENTON.Sustainable mobility in the low carbon city:digging up the highway in Odense,Denmark[J].Sustainable Cities and Society,2016,29:203-210.
- [6]KHANNA N,FRIDLEY D,HONG L.China's pilot low-carbon city initiative:a comparative assessment of national goals and local plans[J].Sustainable Cities & Society,2014,12:110-121.
- [7]宋弘,孙雅洁,陈登科.政府空气污染治理效应评估——来自中国“低碳城市”建设的经验研究[J].管理世界,2019,35(6):95-108+195.
- [8]逯进,王晓飞,刘璐.低碳城市政策的产业结构升级效应——基于低碳城市试点的准自然实验[J].西安交通大学学报(社会科学版),2020,40(2):104-115.
- [9]陈宇,孙泉坤.政策模糊视阈下试点政策执行机制研究——基于低碳城市试点政策的案例分析[J].求实,2020(2): 46-64+110-111.
- [10]庄贵阳.中国低碳城市试点的政策设计逻辑[J].中国人口·资源与环境,2020,30(3):19-28.
- [11]陈楠,庄贵阳.中国低碳试点城市成效评估[J].城市发展研究,2018,25(10):88-95+156.
- [12]陆贤伟.低碳试点政策实施效果研究——基于合成控制法的证据[J].软科学,2017,31(11):98-101+109.
- [13]邓荣荣,詹晶.低碳试点促进了试点城市的碳减排绩效吗——基于双重差分方法的实证[J].系统工程,2017,35(11):68-73.
- [14]戴嵘,曹建华.中国首次“低碳试点”政策的减碳效果评价——基于五省八市的 DID 估计[J].科技管理研究,2015,35(12):56-61.
- [15]WOLFF,HENDRIK.Keep your clunker in the suburb:low-emission zones and adoption of green vehicles[J].The Economic Journal,2014,124(578):481-512.
- [16]GEHRSTZ,MARKUS.The effect of low emission zones on air pollution and infant health[J].Journal of Environmental Economics and Management,2017,83:121-144.
- [17]王华星,石大千.新型城镇化有助于缓解雾霾污染吗——来自低碳城市建设的经验证据[J].山西财经大学学报,2019,41(10):15-27.
- [18]李顺毅.低碳城市试点政策对电能消费强度的影响——基于合成控制法的分析[J].城市问题,2018(7):38-47.

-
- [19]周迪,周丰年,王雪芹. 低碳试点政策对城市碳排放绩效的影响评估及机制分析[J]. 资源科学, 2019, 41(3):546-556.
- [20]蒋尉. 低碳城市建设中的非技术创新贡献——基于 70 个低碳试点城市数据的分析[J]. 城市, 2019(11):54-69.
- [21]龚梦琪,刘海云,姜旭. 中国低碳试点政策对外商直接投资的影响研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(6):50-57.
- [22]李林红,王娟,徐彦峰. 低碳试点城市政策对企业技术创新的影响——基于 DID 双重差分模型的实证研究[J]. 生态经济, 2019, 35(11):48-54.
- [23]逯进,王晓飞. 低碳试点政策对中国城市技术创新的影响——基于低碳城市试点的准自然实验研究[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2019, 19(6):128-141.
- [24]章文光,马振涛. 低碳城市试点中地方政府制度创新角色及行为——以珠海市为例[J]. 中国行政管理, 2014(11):28-31.
- [25]彭向,蒋传海. 产业集聚、知识溢出与地区创新——基于中国工业行业的实证检验[J]. 经济学(季刊), 2011, 10(3):913-934.
- [26]BAI Y, SONG S, JIAO J, et al. The impacts of government R&D subsidies on green innovation:evidence from Chinese energy-intensive firms[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 233(1):819-829.
- [27]刘瑞明,赵仁杰. 国家高新区推动了地区经济发展吗——基于双重差分方法的验证[J]. 管理世界, 2015, 31(8):30-38.
- [28]JACOBSON L S, SULLIVAN L L G. Earnings losses of displaced workers[J]. American Economic Review, 1993, 83(4):685-709.
- [29]PORTER M E, VAN DER LINDE. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship[J]. Journal of Economic Perspectives, 1995, 9(1):97-118.
- [30]范子英,赵仁杰. 法治强化能够促进污染治理吗——来自环保法庭设立的证据[J]. 经济研究, 2019, 54(3):21-37.
- [31]PABLO DEL RÍO, CARRILLO-HERMOSILLA J, TOTTI KÖNNÖL. Policy strategies to promote eco-innovation[J]. Journal of Industrial Ecology, 2010, 14(4):541-557.
- [32]邵帅,齐中英. 资源输出型地区的技术创新与经济增长——对“资源诅咒”现象的解释[J]. 管理科学学报, 2009, 12(6):23-33.