
能源转型政策对城市生态韧性的影响研究*

侯新烁 李 圳 桂 思 伍凯捷 吴 洁

摘要:城市生态韧性指城市生态系统应对扰动、适应变化并实现可持续发展的能力。新能源示范城市建设是中国能源转型过程中的一项重要试点工程,本文将其作为能源转型政策的准自然实验,基于2006—2021年中国281个地级及以上城市的面板数据,运用双重差分模型评估能源转型政策对城市生态韧性的影响及作用机制。研究发现,能源转型政策显著提升了城市生态韧性,且这一结论在多种稳健性检验后依然成立。机制分析表明,该政策通过激励政府增加能源转型基础设施投入与节能环保财政支出、促进企业绿色技术创新与产业结构升级、引导居民形成绿色消费偏好三条路径发挥作用。进一步分析表明,地方政府政治激励对该政策的生态韧性提升效应具有正向调节作用。异质性分析显示,相较于资源型城市,该政策对非资源型城市生态韧性的提升效应更显著。空间效应检验表明,该政策对城市生态韧性的提升作用具有显著的空间溢出效应。本文为在“双碳”目标下差异化推进区域能源绿色转型、提升城市生态韧性水平提供了重要的理论依据与实证支撑。

关键词:新能源示范城市建设;能源转型政策;生态韧性;政策溢出

一、引言

在全球气候风险持续加剧、可持续发展诉求日益迫切的背景下,能源转型已成为各国应对气候变化冲击、保障能源供给安全、实现碳达峰碳中和目标的核心战略路径(王强等,2025)。“十

*侯新烁,湘潭大学商学院,湘潭大学中非研究院,邮政编码:411105,电子信箱:houxinshuo@126.com;李圳,湘潭大学商学院,邮政编码:411105,电子信箱:903163201@qq.com;桂思,湘潭大学商学院,邮政编码:411105,电子信箱:qui_s09@163.com;伍凯捷,湘潭大学商学院,邮政编码:411105,电子信箱:18774769513@163.com;吴洁,广州大学人文学院,邮政编码:510006,电子信箱:2964163974@qq.com。

本文系湖南省教育厅科学研究重点项目“中国援助对非洲受援国家家庭经济行为的影响”(25A0126)、湖南省社会科学基金重点项目“构建中非物流风险防控体系研究”(25WTB14)、湘潭大学研究生创新项目“子女代际支持对老年人消费行为的影响研究”(XDCX2025Y032)的阶段性成果。感谢匿名审稿专家和编辑部的宝贵修改意见。文责自负。

四五”规划明确提出,要加快构建以新能源为主体的新型电力系统,推进能源生产和消费革命。作为全球清洁能源开发利用的主力军,中国在清洁能源产业发展与场景应用方面已取得突破性进展。截至2025年,清洁能源发电装机规模连续多年稳居世界第一,发电量占社会总用电量比重超三分之一;非化石能源消费比重历史性超过石油,非化石能源由此成为我国第二大能源类型;风电光伏装机容量也首次超越煤电^①。伴随能源含“绿”量不断提升,我国生态环境质量亦同步改善,“十四五”期间单位GDP能耗累计下降约15.4%,细颗粒物(PM_{2.5})浓度累计下降20%,重污染天数减少25%,这些成效表明我国正稳步迈向“美丽中国”建设目标^②。在此背景下,能源转型与生态环境质量的互动关系也逐渐成为学界关注的热点议题。

既有研究已证实,能源结构调整是提升环境质量的根本手段(魏巍贤、马喜立,2015)。但需明确的是,生态环境质量的改善虽然能夯实城市抵御外界风险的基础(Meerow & Newell, 2017),却并不直接等价于城市韧性水平的提升。二者差异在于,前者强调人居环境的改善,后者则强调城市面对外部冲击时的抵抗力、适应力与灾后恢复力(Holling, 1973)。随着城市功能结构日趋多元,其作为复杂社会生态系统,所面临的不确定性风险持续叠加(Wang et al., 2019),近年来频发的自然灾害更是凸显了部分城市风险应对能力不足的短板。因此,构建系统化的城市韧性承载体系,推动城市风险治理模式从被动抵御向主动响应转变,比依赖外在保护措施更为关键。

当前学界对城市生态韧性的研究,主要围绕测度指标体系构建和影响因素识别两个维度展开。在生态韧性的评价与测度层面,学术界尚未形成统一的分析框架。国内现有研究中的主流城市生态韧性评价框架包括“规模—密度—形态”(王少剑等,2021)、“DPSIR模型”(李雪铭等,2022)以及“抵抗力、适应力和恢复力”(吕添贵等,2023)等。相关测度实践多以城市的生态环境建设、污染物控制等静态特征为切入点,运用耦合协调模型、熵权法和社会网络分析法等量化工具展开测度(张明斗、冯晓青,2019)。但此类研究的指标设计多依赖客观环境质量数据,本质上是将生态韧性视为城市在特定时点的资源禀赋存量,侧重刻画生态韧性的本底水平,却缺乏对生态风险暴露概率的量化评估,无法识别城市在外部不确定冲击下的脆弱性与恢复潜力。尽管部分学者基于演化韧性理论尝试构建动态的生态韧性评价体系(朱静敏、卢小丽,2024),但囿于数据约束和动态监测标准缺失,仍难以实现对生态韧性的动态评估。

在城市生态韧性的影响因素研究层面,现有文献考察了城镇化进程(王少剑等,2021)、经济发展质量(赵领娣、孙兆旭,2023)、旅游经济发展(王松茂、牛金兰,2023)、人口集聚程度(李维

①国家统计局.“十四五”经济社会发展成就系列报告之十四:能源转型跨越发展 绿色低碳成效显著[R].北京:国家统计局,2026.

②国家统计局:《生态环境持续改善 美丽中国建设全面推进——“十四五”经济社会发展成就系列报告之七》。

露、张明斗,2025)等因素对生态韧性的影响,旨在为推动区域可持续发展与生态文明建设提供理论支撑和量化证据。鉴于城市生态环境的典型公共物品属性,仅依靠市场主体或社会组织的力量,难以有效化解系统性生态风险。因此,环境规制政策成为近年研究的焦点。部分学者使用双重差分模型,检验了海绵城市建设(姚鸣奇等,2023)、智慧城市试点(楚尔鸣等,2023)、水生态文明城市建设(张卓群等,2023)等环境规制政策对地区生态韧性的影响,研究结论均证实上述政策试点取得了显著的阶段性成效。然而,值得注意的是,能源的生产与消费是影响城市生态韧性提升的关键因素,现有研究对能源转型与城市生态韧性关系的探讨却较为匮乏。

能源作为城市经济活动的物质基础,是驱动城市经济增长的核心动力,但同时也是城市环境污染的主要来源。随着能源转型进程的加速推进,城市生态环境得到了显著改善(Jing et al.,2021)。现有关于能源转型与生态环境关系的研究主要集中于碳排放抑制、绿色技术创新、能源效率提升等方面。例如,Wang等(2024)整合夜间灯光遥感数据与机器学习算法测算城市碳排放水平,有效提升了区域间碳排放数据的横向可比性,从而为评估能源转型的碳排放效应及其空间溢出特征提供了更为精准的测算依据。Wang和Ma(2024)从地方官员的激励约束机制视角出发,发现地方官员在能源转型政策的落地执行中扮演着关键角色,进而影响空气污染的治理效果。进一步地,Ding等(2024)运用耦合协调模型,揭示了能源转型通过“源头管控—过程监管—末端治理”的全流程治理路径,促进城市治污减排协同发展。此外,大量研究证实,能源转型可通过促进新能源技术创新、产业结构优化、能源结构调整等路径提升城市能源利用效率(Cheng et al.,2023)。通过总结已有研究可以发现,学界对能源转型影响城市生态韧性的探讨较少,一是因为能源系统与城市生态韧性的关系涉及多学科交叉融合,其分析框架较为复杂(石龙宇等,2022)。二是因为城市生态韧性评估指标体系尚未完善,指标选取的主观性较强,难以准确识别能源转型对城市生态韧性影响(史晨辰等,2023)。

综上所述,现有研究成果对本文探讨能源转型与城市生态韧性的关系具有一定借鉴意义,但仍存在一定的局限。首先,在测度层面,虽有研究尝试从演化韧性角度对城市生态韧性评价指标进行了修正,但其测度结果仍局限于对城市环境质量现状的静态刻画,未能有效捕捉生态韧性的动态波动特征及潜在风险水平。其次,在研究视角层面,现有关于能源转型生态效应的研究,多围绕污染排放管控、空气质量改善等生态环境单一子系统展开,难以全面反映能源转型对城市生态韧性的综合影响。再次,在机制分析层面,现有文献对能源转型政策作用路径的探讨,多集中于产业结构升级与技术创新等传统维度,缺乏基于多主体响应视角的系统性机制分析。最后,在空间识别层面,环境污染物具有典型的空间扩散效应,能源转型的政策效应也可能存在空间辐射作用,而既有研究尚未充分验证能源转型对邻近城市生态韧性的空间溢出影响。

针对上述研究缺口,本文以2014年国家能源局公布的新能源示范城市建设(NEDC)试点

为准自然实验场景,基于2006—2021年中国281个地级及以上城市的面板数据,构建双重差分模型与空间计量模型,从政府、企业和居民三大核心主体切入,考察能源转型政策对城市生态韧性的影响效应与作用机制。研究发现,能源转型政策显著提升了城市生态韧性,这一核心结论在经过多种稳健性检验后依然成立。机制分析表明,该政策通过激励政府增加能源转型基础设施投入与节能环保财政支出、促进企业绿色技术创新与产业结构升级、引导居民形成绿色消费偏好三条路径,增强城市生态韧性。进一步分析表明,城市资源禀赋差异会显著影响该政策的生态韧性提升效应。此外,地方政府的政治激励对政策效果具有显著的正向调节作用。空间效应检验进一步表明,能源转型政策对城市生态韧性的提升作用具有显著空间溢出效应,并对邻近地区的生态韧性产生提升作用。

本文的边际贡献主要体现在以下三个方面:第一,拓展了环境政策评估的理论边界。现有研究多聚焦能源转型的碳减排效应或经济增长效应,本文将其生态效应评估从环境质量改善推进至韧性能力提升,为我国新能源市场发展和生态风险应对提供了新的分析视角。第二,改进了生态韧性的测度方法。区别于既有研究对静态生态本底水平的测度思路,本文引入脆弱性(VEP)测度框架,通过设定相对阈值明确生态底线标准,并以城市维持最低生态安全水平的概率作为生态韧性的代理变量。这种方法有助于识别生态系统在外部扰动下的脆弱性特征,为韧性研究提供新的测度思路和方法参考。第三,系统揭示了能源转型影响城市生态韧性的作用机制与空间效应。本文立足于政策实施的多主体响应逻辑,从政府响应、企业响应、居民响应三个角度,分析能源转型政策影响城市生态韧性的传导路径,并进一步分析了政府激励机制、区域资源禀赋差异及空间溢出效应对政策效果的复杂影响。这一研究完善了能源转型赋能城市生态韧性的理论逻辑链条,不仅为地方政府制定政策提供多方面的理论依据,也为学术研究和实践探索提供参考。

二、制度背景与研究假说

(一)制度背景

2012年国家能源局启动新能源示范城市建设(NEDC)工作,组织各地区结合自身发展基础编制专项发展规划,并采用“地方申报、中央遴选”的方式确定试点名单。申报城市需满足两个基本条件:一是完成规定的污染物削减任务,降低单位能耗;二是新能源消费量占总量的比重不低于3%。2014年,我国确定了第一批81个新能源示范城市和8个产业园区。该试点通过创新可再生能源开发方式,探索可再生能源与常规能源的协调利用模式,充分发挥市场机制作用,推动可再生能源在城市区域供电、供热、供气、交通和建筑等领域的广泛应用,显著提高了城市可再生能源消费比重。同时,该试点推动经济结构向绿色低碳方向转型,构建更具韧性的生态系统,为实现碳达峰碳中和目标和经济社会可持续发展奠定了坚实基础。

示范城市名单公布后,各试点城市结合本地实际与特色,纷纷出台配套政策支持新能源的开发与应用。其中,以敦煌市和合肥市为典型。敦煌市编制了多个新能源发展规划,积极打造100%可再生能源城市。合肥市则积极通过完善光伏发电补贴政策、建设“互联网+”智慧能源平台、开展碳排放交易以及光伏电站资产证券化试点等多项措施促进光伏的推广。此外,多个城市还将分布式新能源应用与建筑领域相结合,促进绿色建筑的发展。

从政策实施的产业效果来看,作为我国能源转型与可持续发展进程中的重要实践平台,新能源示范城市建设推动我国新能源产业在诸多关键领域收获了令人瞩目的阶段性成果(见表1)。这一系列成果为我国新能源产业迈向全面、协调、可持续发展的新阶段筑牢了根基,为促进经济社会发展及满足人民日益增长的美好生活需要提供了坚实的能源保障。此外,NEDC也为全国范围内的能源转型提供了宝贵的经验和模式参考,成为推动我国能源结构优化与绿色低碳转型的重要引擎。可以预见,持续推进新能源示范城市建设将会对中国经济发展的各个方面产生重大而深远的影响。

表 1 我国新能源发展取得的主要成就			
项目	成果	项目	成果
创新市场化节能方式	累计发布能耗限额、产品能效等国家标准335项,能效标识覆盖5大用能领域44类用能产品。2023年节能服务产业总产值超5000亿元,较2013年翻了一番	节约型公共机构	90%县级以上机关单位建成节约型机关,创建节约型公共机构示范单位5114家。2023年全国公共机构人均综合能耗较2013年下降20.4%
工业企业节能提效	规模以上工业单位增加值能耗累计下降超过36%。2016年以来,对3万多家工业企业开展国家专项工业节能监察,为2万多家工业企业提供节能诊断服务	交通运输体系	截至2023年底,中国新能源汽车保有量超过2040万辆,2023年铁路单位运输工作量综合能耗较2013年下降约19%,全国铁路电气化比例达73.8%
绿色节能建筑	累计建成节能建筑面积达326.8亿平方米,占城镇既有建筑面积比例超过64%,较2013年提高近30%	绿色低碳生活方式	组织109个城市开展绿色出行创建行动,考核达标城市97个,绿色出行比例达到70%以上
充电基础设施网络	累计建成充电基础设施近860万台,加氢站超过450座。广东、广西、海南、江苏、湖北等12个省份实现了充电桩“县县全覆盖”、充电桩“乡乡全覆盖”		

资料来源:中华人民共和国国务院新闻办公室.《中国的能源转型》白皮书[R].北京,2024.

(二)研究假说

1.能源转型政策对城市生态韧性的影响效应

依据“演化韧性”理论,城市生态韧性是城市生态系统固有的属性,城市生态系统始终具备防御、响应能力和动态进化能力。因此,本文参考欧阳晓等(2025)的研究,基于“压力-状态-响应”(PSR)模型构建城市生态韧性指标体系,并从“抵抗力-适应力-恢复力”框架出发,

从增强抵抗力、提升适应力、强化恢复力三个维度分别阐释能源转型政策对城市生态韧性的影响。

第一,增强抵抗力。生态系统所承受的外部人为扰动,是导致生态退化与风险累积的核心诱因。能源转型政策通过源头治理降低生态压力,进而提升生态系统的基础防御能力。一方面,政策鼓励地方依托资源禀赋开发风能、太阳能等清洁能源,推动化石能源清洁高效利用,实现传统能源与新能源协同互补,从生产端削减污染物与碳排放,降低生态系统的环境负荷。另一方面,能源转型降低了城市对高污染、高耗竭型矿产资源的依赖,缓解资源开发带来的生态破坏与地表扰动,有利于矿区生态修复与生态本底保育。上述作用共同降低生态系统的脆弱性暴露水平,增强了城市生态系统的抵抗力,使其在面对极端气候、环境波动等外部冲击时,更容易维持结构稳定与功能完整。

第二,提升适应力。能源转型不仅推动能源结构更替,更通过重构城市生产生活方式,优化生态系统内在状态,增强其动态适应能力。首先,清洁能源的普及可有效改善城市气候,缓解城市热岛效应、改善大气环境与水文循环,从而提升生态系统自我调节能力。其次,能源转型倒逼高耗能产业退出与绿色产业集聚,推动产业结构绿色低碳升级,减少生态系统长期承载压力,从而促进生态环境进入良性循环。此外,新能源技术与分布式能源系统的推广,提高了城市能源供需的灵活性与稳定性,使得城市在面对资源短缺、极端气候等不确定性事件冲击时,具备更灵活、更具韧性的状态调节能力。这种系统内在状态的优化,反映城市生态韧性从被动防御逐步进化为主动适应。

第三,强化恢复力。恢复力体现为生态系统遭受冲击后快速修复、回归稳态的能力。新能源示范城市建设通过完善能源基础设施与应急保障体系,提升生态系统的灾后恢复效率。试点城市中,地方政府通过完善新能源管网、智能电网、分布式储能等基础设施建设,推动多能互补与互联互通,提升能源调配与应急保供能力;同时构建以“企业储备为主、政府储备为辅”的多层次能源储备体系,增强极端情况下城市的能源兜底保障能力。完善的能源储备体系和智能化的调配体系能够帮助城市生态系统在遭受干扰后,通过储备能源的及时调配和使用,减少外在冲击对城市基础设施和居民生活的干扰,缩短城市关键功能的恢复周期。基于此,本文提出研究假说1。

假说1:能源转型通过提升抵抗能力、适应能力和恢复能力,增强城市生态韧性。

2.能源转型政策对城市生态韧性的影响机制分析

能源转型政策本质上是中央政府向地方政府传递的一种制度压力或政策激励。试点城市的遴选和后续考核要求,构成了地方政府、企业和居民必须回应的外部约束。在这一压力作用下,政府作为城市发展的主导者需要通过政策制定和资源配置来响应中央要求;企业作为能源生产与消费的主要参与者,其技术创新和生产模式转变是对政策压力的适应性调整;

居民作为能源的终端使用者,其生活方式的转变则是在政策环境与市场信号共同作用下的行为响应。政府出台的政策既受到企业和居民行为反馈的影响,又通过政策引导和资源配置反过来塑造企业和居民的日常行为。本文从政府、企业、居民三重视角,探讨政策压力下各主体的响应行为如何共同作用于城市生态韧性。

第一,政府响应。能源转型政策明确要求地方政府要做好组织领导工作,建立相关工作机制,确立可再生能源优先发展战略。这一外部压力有效驱动政府部门制定新能源产业发展的政策,通过分配财政资源和引导社会资本的流向,促进地区新能源产业发展和产业结构改善(丁芸,2016)。值得注意的是,企业可能会为了迎合政府的产业政策而进行策略性创新(黎文靖等,2016),影响新能源产业长期发展。因此,在合理配置财政资源的同时,政府会通过加强基础设施建设、支持研发投入和人才培养这类功能性政策,纠正企业创新中的“短视”现象,推动实质性创新,夯实经济持续发展的基础(胡丽娜、薛阳,2023)。这些政府层面的响应行为,通过优化资源配置、夯实绿色发展基础,最终作用于城市生态系统的抵抗能力、响应能力和创新能力,实现城市生态韧性的增强。

第二,企业响应。作为能源消费与污染排放的主体,企业在能源转型政策压力下,其生产行为调整是政策效应传导至生态韧性的重要环节。在源头预防层面,政策释放的环境规制与市场预期信号引导企业优化投资决策与产能布局,推动高污染高耗能企业收缩落后产能、退出低效率生产领域,同时扩大新能源领域投资,引导生产要素向绿色低碳领域集聚,为提升生态韧性筑牢产业基础(吕鹏、黄送钦,2021)。在过程控制层面,企业依托政策激励下的研发投入,通过技术创新与工艺升级提升能源利用效率、降低单位碳排放强度,进而推动节能降碳与清洁能源技术应用,从生产过程减少对生态环境的压力(程洪飞、李豫新,2025)。在末端治理层面,以严格的排污标准与能耗碳排放约束倒逼企业升级末端治理设施、规范排污行为,削减城市环境负荷(苏晨晨、柳艳红,2025)。由此,企业在不同生产环节的适应性调整,构成了提升城市生态韧性的微观基础。

第三,居民响应。能源转型从认知与实践维度塑造居民行为。一方面,能源转型政策推进增强了居民生态意识,使生态文明深入人心(王建明,2015);另一方面,新能源汽车的普及与公共交通的优化,减少了居民对传统燃油汽车的依赖,推动其选择节能产品与服务,主动降低对传统化石能源的消费(尹碧波等、邝萍,2025)。这种由思维观念与生活行为转变共同驱动的低碳化响应,不仅削减了城市碳排放负荷,更通过社会行为的集体转向,增强了城市应对长期环境风险的适应能力与转型潜力。

综上所述,本文提出研究假说2、3、4。

假说2:能源转型政策促进政府增加财政投资、完善基础设施建设,从而增强城市生态韧性。

假说3:能源转型政策通过引导企业生产行为调整,推动产业结构升级、技术创新与污染物减排,从而增强城市生态韧性。

假说4:能源转型政策通过引导居民生活行为转变,从而增强城市生态韧性。

三、数据来源与模型构建

(一)数据来源

本文实证分析采用中国地级市及以上城市的面板数据,样本期设定为2006—2021年。为保障数据质量与研究结论的可靠性,样本筛选遵循以下原则:其一,剔除样本期内行政等级发生变更的城市(如毕节、铜仁等),避免行政区划调整对变量测度的干扰;其二,剔除核心变量数据缺失较多的城市,确保观测值的有效性。最终筛选得到281个地级市及以上城市的面板数据,其中新能源示范城市(试点组)61个,非示范城市(对照组)220个。

本文数据主要来自《中国城市统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》、各省市统计年鉴、国民经济和社会发展统计公报以及EPS数据库,针对少量指标存在的年份缺失问题,本文采用线性插值法补齐。此外,为缓解异方差、测量偏误及极端值对回归结果的干扰,本文对所有连续变量进行上下1%的双边缩尾处理,并对部分绝对值较大的经济变量进行对数化处理。

(二)模型构建

本文依据国务院及国家能源局正式发布的政策文件与公示名单,系统整理出2014年国家新能源示范城市建设名单,以入选城市为实验组,未入选城市为对照组。考虑到新能源示范城市建设由中央统筹部署、地方申报遴选,具备一定外生性与随机性特征,可将其视为一项准自然实验,以此识别能源转型政策对城市生态韧性的因果效应。为评估这一政策影响,本文构建如下双重差分模型(DID):

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 DID_{it} + \beta_2 Controls_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it}$$

其中, Y_{it} 表示第 i 个城市 t 年的生态韧性, DID_{it} 为政策分组虚拟变量与政策时间虚拟变量的交互项, DID_{it} 的系数 β_1 表示政策实施效应,反映新能源示范城市建设对城市生态韧性的影响。 $Controls$ 是一组控制变量,包括人均生产总值、产业结构等。 μ_i 为城市固定效应, γ_t 为时间固定效应, ε_{it} 为随机误差项。

(三)变量及其测度

1.被解释变量(ER)

本文的被解释变量为城市生态韧性(ER),用以刻画城市生态系统在面临外部不确定性冲击时的抵御、适应与自我修复能力。既有研究对城市生态韧性的测度多基于PSR模型(压力、状态、响应)构建评价体系,并采用熵权法测算综合得分,以此衡量城市生态韧性水平。然而,此类方法本质上是对城市生态环境静态水平的时点刻画,未能充分体现生态韧性的核心

内涵。城市生态韧性不仅取决于当前的生态质量,还与其未来面临的不确定性风险冲击紧密相关。现实中,部分当期生态质量较好的城市仍可能在极端气候、环境污染累积等冲击下出现生态功能骤降。因此,仅通过静态评价难以捕捉生态系统的潜在脆弱性与风险概率。

为弥补传统测度方法的局限,本文在借鉴赵领娣等(2023)基于PSR模型构建生态环境评价体系的基础上,将Chaudhuri等(2002)提出的贫困脆弱性测度框架(VEP方法)拓展至城市生态韧性评估领域。具体而言,将VEP原框架中的“贫困脆弱性”重新定义为生态脆弱性,即城市未来无法维持基本生态稳定的概率;将框架中的“家庭福利水平”替换为城市生态环境综合水平,从而将脆弱性评估与经济学风险预测思路相结合,推动生态韧性测度由静态综合评价转向动态概率评估。在测度方式上,通过估计城市生态环境水平的条件期望与条件方差,将分析重心从“当期生态好坏”转向“未来风险预警评估”。在生态底线临界值设定上,考虑到生态系统承载力阈值难以直接观测,且存在复杂性与不确定性,本文采用相对阈值法,以每年所有样本城市生态环境水平值的30%分位数作为最低生态安全临界线,并在稳健性检验中对分位数选择进行敏感性分析,以缓解阈值选择主观性对测度结果的干扰。具体测度步骤如下:

首先,本文基于PSR模型构建生态环境水平评价指标体系,涵盖压力、状态、响应共3个二级指标和12个三级指标,如表2所示。由于不同指标存在正反方向的问题,本文对各指标数值进行无量纲化处理,进而采用熵权法测算各城市逐年的生态环境水平综合指数。

表 2 城市生态水平测度指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	单位	方向
生态环境水平	压力指数	人均工业废水排放量	吨/人	负向
		人均工业二氧化硫排放量	吨/人	负向
		人均工业烟尘排放量	吨/人	负向
		人均碳排放量	吨/人	负向
		PM _{2.5} 年均浓度	微克/立方米	负向
	状态指数	人均水资源拥有量	立方米	正向
		建成区绿化覆盖率	%	正向
		人均公园绿地面积	公顷/万人	正向
		人均建成区面积	平方千米/万人	正向
	响应指数	工业固体废弃物综合利用率	%	正向
		生活垃圾无害化处理率	%	正向
		污水处理厂集中处理率	%	正向

在灾害学研究中,脆弱性是指在特定影响因素作用下,某孕灾环境区域内的承灾体对自然灾害表现出的易受损性。延伸至生态领域,生态脆弱性指在特定时空范围内,区域生态环境遭受外部扰动后发生退化、功能受损的潜在可能性。而脆弱性可以理解为韧性的对立面,

即生态系统脆弱性越高,其韧性水平越低,反之亦然。基于这一关联,结合前文VEP方法的思路,本文提出改进后的生态韧性测度方法,如式(1)所示。该式表示城市生态韧性等价于该城市未来预期生态环境水平高于最低生态环境水平界限(即门槛值)的概率。

$$ER_{i,t} = Pr(EL_{i,t+1} \geq Z_t) \quad (1)$$

其中, $ER_{i,t}$ 表示第 i 个城市在 t 时期的生态韧性; $EL_{i,t+1}$ 表示该城市在 $t+1$ 时期的预期生态环境水平; Z_t 表示 t 时期城市生态环境的最低门槛值(即维持生态系统核心功能的临界水平)。

城市 $t+1$ 时期的预期生态环境水平可以表示为可观测到的变量 (X_i) 和包含冲击因素的误差项 (e_i) 的函数,其函数表达式如下:

$$EL_{i,t+1} = f(X_i, e_i) \quad (2)$$

把式(2)代入式(1)可得如下方程:

$$ER_{it} = Pr(EL_{i,t+1} = f(X_i, e_i) \geq Z_t) \quad (3)$$

结合三阶段最小二乘法(FGLS)测算城市生态韧性,具体如下:

第一步,对城市生态环境水平进行逐年回归,将回归后的残差平方和作为生态环境波动进行OLS估计,即存在下式:

$$EL_{i,t} = X_i \beta + \varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

$$\hat{\varepsilon}_{it}^2 = X_i \theta + \gamma_{i,t} \quad (5)$$

其中, $EL_{i,t}$ 代表城市 i 在 t 期的生态环境水平, X_i 代表一些城市的特征变量, $\varepsilon_{i,t}$ 代表城市生态水平的波动项, $\gamma_{i,t}$ 为随机误差项。

第二步,构建异方差结构作为权重,重新对残差平方及生态环境水平进行加权回归,估计未来生态环境水平的期望值和方差,即存在下式:

$$\hat{E}[EL_{i,t}|X_i] = X_i \widehat{\beta}_{FGLS} \quad (6)$$

$$\hat{V}[EL_{i,t}|X_i] = \widehat{\sigma}_{i,t}^2 = X_i \widehat{\theta}_{FGLS} \quad (7)$$

第三步,假设生态环境水平服从正态分布,则生态韧性计算可以简化为下式:

$$ER_{i,t} = Pr(EL_{i,t+1} \geq Z_t) = \phi \left(-\frac{Z_t - X_i \widehat{\beta}_{FGLS}}{\sqrt{X_i \widehat{\theta}_{FGLS}}} \right) \quad (8)$$

然而,一方面生态系统结构与功能的复杂性使得人类无法像评价自然资源供给能力那样去评价生态系统的承载力阈值;另一方面,人类活动对生态系统影响的两面性进一步加剧了生态环境承载力阈值的复杂性和不确定性(朱嘉伟等,2017)。因此,目前为止并没有一个绝对阈值来评价生态系统的最低承载力。考虑到生态环境水平会受到多种因素的影响,每年的

情况有所不同,采用相对阈值的方法可以根据每年的实际数据动态调整最低生态环境水平线,更贴合不同年份的实际情况。此外,生态韧性并非要求生态系统维持某一固定状态,而是强调其在面对扰动时维持可接受功能水平的能力。据此,本文采用相对阈值的方法,取每年所有样本城市生态环境水平值的30%分位点,设定为该年度满足城市生态承载力要求的最低生态环境水平线,即阈值(Z_t)。

2.核心解释变量(did)

本文的核心解释变量是反映“该城市当年是否属于新能源示范城市建设试点”的虚拟变量($treat \times time$)。 $treat$ 、 $time$ 分别是城市虚拟变量和时间虚拟变量。将国家能源局公布的试点城市作为处理组,取值为1;将非试点城市作为对照组,取值为0。对于试点城市,在试点实施当年及以后取值为1,试点实施之前取值为0;非试点城市的年份虚拟变量均设置为0。

3.控制变量

考虑到城市生态韧性是经济社会发展过程与环境要素交互作用的结果,本文基于环境库兹涅茨曲线(EKC)假说、“污染避难所”假说及城市生态学相关理论,参考孙铭、王茗旭(2025)的研究,从城市规模、经济水平、产业结构和对外开放四个维度,选择如下七个特征变量作为控制变量:(1)人口规模(ps),以地级市年末总人口(取对数)表示,用以控制城市规模扩张带来的资源消耗与生态承载压力。(2)经济发展水平($pgdp$),用人均实际地区生产总值(取对数)表示,用以捕捉不同经济阶段对生态环境的差异化影响。(3)工业规模($size$),以规模以上工业企业数量衡量,用以控制工业部门体量扩张对本地生态环境的直接压力。(4)外商投资水平(fdi),以地级市当年实际利用外资额占地区生产总值的比重表示,用以控制外资依存度差异导致的潜在污染转移风险。(5)政府干预程度(gv),以政府财政一般性支出占地区生产总值的比重表示,用以控制地方政府财政支配力与行政干预强度对生态资源配置的影响。(6)城镇化水平($urban$),以城镇常住人口占总常住人口的比重表示,用以控制人口空间集聚带来的资源消耗强度变化与生态系统服务需求变化。(7)工业化水平(idl),以工业增加值占地区生产总值的比重表示,用以控制地区产业结构的重工业化倾向对生态韧性的影响。

(四)描述性统计

从表3的描述性统计结果来看,生态韧性指标的取值范围介于0.121至1之间,其均值为0.832,标准差为0.185。这一标准差数值表明样本城市生态韧性的分布较为集中,波动幅度相对较小,数据的离散程度较低,整体水平较为稳定。政策变量的均值为0.109,这意味着在样本城市中,受政策影响的城市占比约为10.85%。从整体角度分析,其余变量的描述性统计结果与以往相关研究的结论较为契合。此外,所有连续变量的标准差均处于较低水平,这表明在后续的回归分析中,数据受到极端值干扰的可能性较低,从而为回归模型的稳健性提供了

初步的保障。

表 3 描述性统计

变量	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
<i>ER</i>	4496	0.832	0.185	0.121	1
<i>DID</i>	4496	0.109	0.311	0	1
<i>ps</i>	4496	5.892	0.656	4.015	7.204
<i>pgdp</i>	4496	10.491	0.707	8.773	12.009
<i>size</i>	4496	6.586	1.075	4.205	9.063
<i>fdi</i>	4496	0.018	0.018	0	0.088
<i>gv</i>	4496	0.183	0.092	0.064	0.572
<i>urban</i>	4496	0.526	0.165	0.191	0.950
<i>idl</i>	4496	0.389	0.135	0.028	0.839

(五)特征事实分析

结合图 1 所示的试点城市与非试点城市生态韧性变化趋势可知,2014 年示范城市建设名单正式公布后,试点城市的生态韧性水平呈现出显著的差异化变动特征。政策实施前期(2006—2013 年),处理组(试点城市)与对照组(非试点城市)的生态韧性整体均保持波动上升状态,两组变动轨迹高度贴近。政策实施后(2014—2021 年),两组生态韧性走势出现明显分化,试点城市生态韧性的下降速率远缓于非试点城市,组间韧性差距逐步拉大。具体来看,处理组生态韧性在 2014 年后虽伴随小幅波动,但整体稳定维持在 0.82~0.87 的较高区间,并于 2021 年回升至 0.87 左右;而对照组城市生态韧性则呈现大幅下滑趋势,由 2014 年的 0.84 逐步降至 2017 年约 0.77 的低谷水平。然而,能源转型政策与城市生态韧性提升之间是否存在真实的因果效应,仍需通过后续严谨的计量实证检验加以验证。

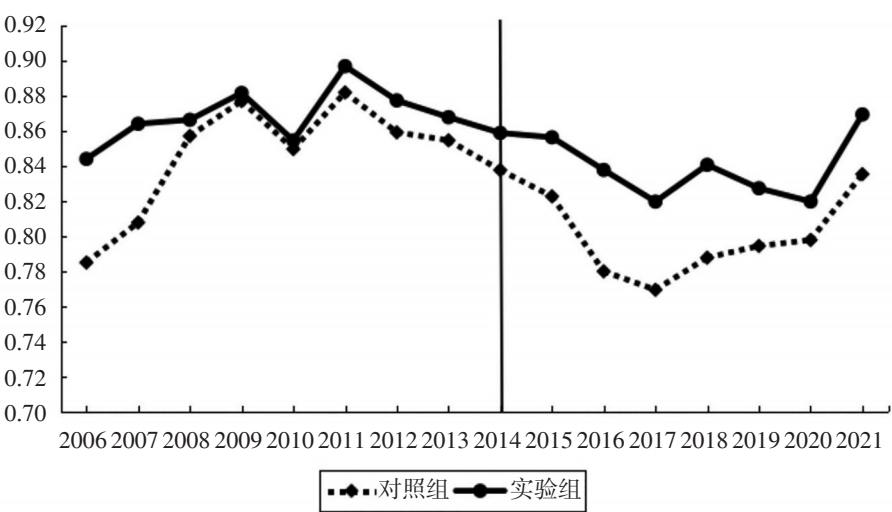


图 1 试点城市与非试点城市历年生态韧性的变化

四、实证结果与讨论

(一)基准回归结果

表4报告了新能源示范城市建设对城市生态韧性影响效应的回归结果。其中,第(1)列仅纳入核心解释变量,未控制城市与年份固定效应及其他控制变量;第(2)列在第(1)列基础上加入城市与年份固定效应,以控制城市个体异质性与时间共同冲击的干扰。第(3)、(4)列是在第(1)、(2)列的基础上加入所有控制变量的估计结果。

回归结果显示,如果忽略城市个体特征和时间趋势的干扰,核心解释变量DID的系数不显著甚至有偏误(第(1)、(3)列)。而在同时控制城市与年份后,无论是否加入控制变量,DID的回归系数均显著为正(第(2)、(4)列),这表明新能源示范城市建设对城市生态韧性具有显著的正向提升效应。

在经济意义上,以纳入所有控制变量的列(4)为例,在其他条件不变的情况下,相较于非示范城市(对照组),示范城市(实验组)的生态韧性水平平均提高0.016个单位。正如前文所述,新能源示范城市建设的实施和推进,能够从抵抗力、适应力和恢复力三个方面,提高城市的抗扰能力和可持续发展能力,从而促进城市生态韧性的提升,验证了本文的假说1。

表 4 基准回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>ER</i>	<i>ER</i>	<i>ER</i>	<i>ER</i>
<i>DID</i>	0.010 (0.009)	0.015** (0.007)	-0.135*** (0.006)	0.016** (0.007)
<i>ps</i>			0.050*** (0.005)	-0.146*** (0.033)
<i>pgdp</i>			0.075*** (0.004)	0.101*** (0.015)
<i>size</i>			0.377*** (0.119)	0.054*** (0.011)
<i>fdi</i>			-0.635*** (0.042)	-0.617*** (0.154)
<i>gv</i>			-0.069*** (0.021)	-0.005 (0.073)
<i>urban</i>			-0.227*** (0.027)	-0.044 (0.040)
<i>idl</i>			0.837*** (0.057)	0.008 (0.027)
常数项	0.831*** (0.003)	0.831*** (0.002)	-0.135*** (0.006)	0.301 (0.240)
地区固定	不控制	控制	不控制	控制
时间固定	不控制	控制	不控制	控制
样本量	4,496	4,496	4,496	4,496
R ²	0.0003	0.672	0.377	0.691

注: *、**和***分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著;结果保留三位小数;括号内为稳健标准误。下同。

(二)稳健性检验

1.平行趋势检验

为验证基准回归结果是否因政策实施而非时间效应引起,本文采用事件研究法并建立以下模型(式9)进行平行趋势检验。检验旨在确认政策实施前,新能源试点城市与非试点城市的生态韧性变化趋势是否满足平行趋势假设,这是双重差分模型估计结果无偏的关键前提。

$$ER_{it} = \alpha_0 + \sum_{t=-1}^4 \gamma_{-t} pre_{it} + \sum_{t=1}^4 r_t post_{it} + \sum \alpha_i controls_{it} + \gamma_i + \delta_i + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

式中, pre_{it} 为第 i 个试点城市政策实施前的第 t 年, $post_{it}$ 为政策实施后的第 t 年,为避免完全多重共线性,本文选取政策实施前一年(2013年,记为-1期)作为基期,对政策实施前4年和后4年进行平行趋势假设检验。

结果如图2所示,在政策实施前,试点城市与非试点城市生态韧性的变动系数均不显著异于0,表明两组城市的生态韧性变化满足平行趋势假设。政策实施后,从第二年起,能源转型政策对生态韧性的正向促进效应开始显现,但随着时间推移,政策的提升幅度呈逐步收窄态势,这一特征符合边际效应递减规律。其原因可能在于,政策实施初期,新能源示范城市建设处于起步阶段,中央与地方的专项政策投入和行政干预能够快速弥补城市生态短板,显著提升生态韧性。然而,随着新能源产业规模扩张和生态韧性水平的逐步提高,生态系统的优化逐渐进入“提质增效”阶段,进一步提升生态韧性的边际成本上升、难度加大。此外,城市生态韧性还会受到人口规模增长、经济发展模式转变、自然灾害等外部因素的干扰,在一定程度上稀释了能源转型政策的长期效应。因此,能源转型政策在推进过程中需要根据实际情况进行调整和优化,以适应外部环境变化,从而持续释放其对城市生态韧性的提升效能。

2.安慰剂检验

虽然基准回归通过纳入城市固定效应控制了不随时间变化的城市特征对生态韧性的影响,但仍可能存在随城市和时间同时变化的不可观测因素干扰估计结果。为进一步识别城市生态韧性提升的净政策效应,排除随机性因素与不可观测混杂因素的干扰,本文采用安慰剂检验进行稳健性验证。检验设计如下:在281个样本城市中进行1000次随机抽样回归,每次随机选取61个城市作为“伪实验组”,其余220个城市作为“伪控制组”,随后沿用基准回归模型式(1)进行估计,得到1000个“伪政策虚拟变量”的估计系数。图3报告了伪系数的核密度分布及p值散点图,结果显示,随机抽样得到的伪政策系数集中分布于0值附近,且绝大多数系数的P值大于0.1,表明伪政策对生态韧性无显著影响;反观基准回归中核心解释变量的真实系数,其值远离伪系数的分布区间,为明显的异常值。上述结果充分表明,基准回归所得到的政策效应不太可能受到其他随机性因素或不可观测因素的影响,佐证了基准回归结果是稳

健的。

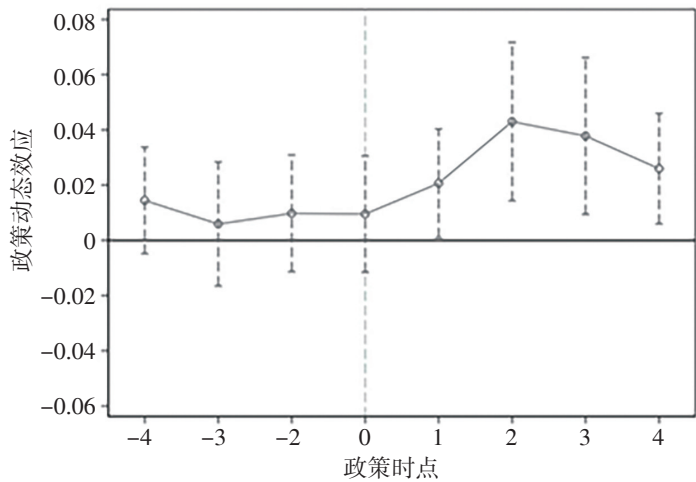


图2 平行趋势检验

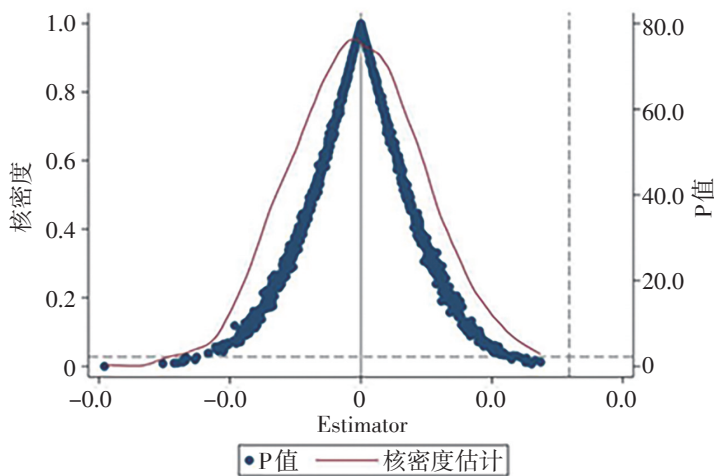


图3 安慰剂检验

3.替换最低生态门槛值

为验证基准结论在不同门槛值设定逻辑下的可靠性,本文借鉴潘敏等(2022)的研究思路,对生态韧性核心测度环节中最低生态门槛值的界定方法进行替换,重新测算被解释变量。具体操作步骤如下:首先计算样本期间每个地级市生态环境水平指数的时间序列平均值并按升序排序,再采用百分位阈值的方法选取30%分位点作为统一的最低生态门槛值,最后沿用前文改进的生态韧性测度方法,基于新门槛值重新测算生态韧性。结果如表5第(1)列所示,核心解释变量 *DID* 的估计系数仍显著为正。

4.PSM—DID

新能源示范城市的遴选并非完全随机,可能存在样本自选择偏误,例如,试点城市可能因

为其经济发展水平、产业结构、可再生能源资源等优势,被选中的概率会更大。这类固有差异会混淆政策效应与城市自身特质的影响,从而干扰政策效应的评估。因此,本文采用倾向得分匹配—双重差分法(PSM—DID),以逐期匹配的方式为处理组匹配尽可能相似的控制组样本,使两组城市在观察到的协变量上尽可能具有可比性。具体而言,以控制变量作为匹配特征,计算每个城市的倾向得分;采用近邻匹配(1:2匹配)策略,为样本期内各年度的处理组城市逐期匹配最优对照组样本;最终以各期匹配权重的均值作为加权变量代入双重差分模型进行参数估计。如表5第(2)列所示,*DID*估计系数在1%的显著性水平上仍显著为正,进一步证实本文核心结论的稳健性。

5.排除同期其他环境政策的干扰

样本期内,我国同时推进了多项区域性、全国性环境规制政策,这些政策可能与NEDC存在协同或叠加效应,进而干扰对能源转型政策效应的准确识别。为剥离这类同期政策的混杂影响,本文手动收集了样本期内与城市生态韧性相关的三类典型环境政策,如低碳城市试点(2010、2012、2017年)、碳排放权交易试点(2013年)和大气重点控制区试点(2013年)。在模型中分别加入这些政策的虚拟变量(*DT*、*TJY*、*DQ*)后,回归结果见表5第(3)至(5)列,*DID*的估计系数依然在5%的水平显著为正,表明同期其他环境规制政策并未对本文的政策效应评估产生实质性干扰,核心结论稳健。

6.非随机性选择讨论

前文PSM—DID虽能通过倾向得分匹配缓解试点与非试点城市在政策实施前的初始特征差异导致的自选择偏误,但城市固有特征对生态韧性的影响并非一成不变,而是会随时间呈现动态演变,比如老工业基地与非老工业基地城市的生态修复速度差异会随环保技术迭代、产业转型进程逐步扩大。这类“静态特征+动态时间趋势”的交互影响仍可能导致政策效应估计偏差。为捕捉并控制这类动态时变偏误,本文参考宋弘等(2019)的研究思路,在基准模型中加入城市核心固有特征变量与线性时间趋势的交互项进行回归分析,具体方程如下:

$$Y_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 DID_{it} + \sum \alpha_i controls_{it} + \sum others_i \times trend_t + \eta_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

模型中,*others_i*表示城市固有特征的虚拟变量集合,包括政治经济地位(直辖市、省会城市)与资源地理禀赋(交通枢纽、老工业基地、北方城市及胡焕庸线西北侧城市)两大维度;*trend_t*为时间线性趋势项。*others_i × trend_t*交互项从线性角度控制了城市固有特征差异随时间变化对生态韧性的影响。回归结果如表5第(6)列所示,*DID*的估计系数在5%的显著性水平上仍显著为正,结论的稳健性进一步得到强化。

7.控制变量的再检验:剔除潜在重叠指标

由于城市生态韧性测度指标体系中的部分三级指标(如人均工业废水、人均工业二氧化硫、人均公园绿地面积)可能与控制变量中的人口规模、工业规模、工业化水平存在概念上的重叠,从而导致伪回归问题。因此,本文剔除了上述控制变量重新进行回归。如表5第(7)列所示,DID的估计系数仍显著为正,表明在排除潜在变量重叠干扰后,核心结论依然稳健。

表5 稳健性检验结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	替换最低生态线	PSM-DID	低碳试点	碳排放权试点	大气重点控制区试点	非随机性选择	剔除可能重复控制变量
<i>DID</i>	0.018* (0.010)	0.045*** (0.015)	0.017** (0.007)	0.016** (0.007)	0.018** (0.007)	0.016** (0.007)	0.012* (0.007)
<i>DT</i>			0.024*** (0.007)				
<i>TJY</i>				-0.032*** (0.008)			
<i>DQ</i>					-0.028*** (0.007)		
<i>others_i × trend_i</i>						控制	
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
地区固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
样本量	4,496	1,428	4,496	4,496	4,496	4,496	4,496
R ²	0.884	0.815	0.695	0.695	0.696	0.709	0.684

(三)影响机制分析

为检验能源转型政策影响城市生态韧性的具体机制,基于前文理论分析,本部分从政府、企业、居民三个响应维度选取机制变量,模型设置如式(11)。其中, M_{it} 为机制变量。

$$M_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 DID_{it} + \sum \alpha_i controls_{it} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \quad (11)$$

1.政府响应

为验证政府响应机制的作用,本文从硬件设施保障与专项财政支持两个维度构建机制变量。首先,采用“城市市政公用基础设施建设固定资产投资完成额(取对数)”衡量政府对新能

源相关基础设施的硬件投入力度。回归结果如表6第(1)列所示,能源转型政策对基础设施投资的影响系数显著为正,这表明试点政策提高了政府在能源转型相关设施的投资强度。其次,采用“政府节能环保支出(取对数)”衡量政府对新能源产业扶持、污染治理等领域的专项财政保障力度。需说明的是,由于节能环保支出统计数据始于2007年,本文剔除2006年的样本以及数据缺失严重的城市。回归结果如表6第(2)列,能源转型政策(*DID*)的影响系数显著为正,表明试点政策提升了政府对能源转型的财政支持主动性。上述检验证明了能源转型政策通过促进政府的硬件投资与财政支出,推动城市新能源基础设施建设与污染治理能力提升,进而优化生态环境,提高生态韧性,验证了假说2。

2.企业响应

为检验企业在能源转型影响生态韧性过程中的行为响应,本文从技术创新驱动、产业结构升级、能耗与污染减排三个角度选取机制变量。具体而言,采用复旦大学产业发展研究中心发布的《中国城市和产业创新力报告》中的城市创新指数来反映企业在新能源技术研发、清洁生产工艺创新等领域的技术支撑能力。选取产业结构高级化和产业结构合理化指数衡量企业的产业结构调整。其中,产业结构高级化用第三产业增加值与第二产业增加值之比表示。产业结构合理化参考干春晖等(2011)的做法,使用泰尔指数衡量,公式如(12)所示,式中 Y 表示产值, L 表示就业, i 表示产业类型。选取能源消耗量和碳排放量衡量企业的能耗水平与非期望产出。能源消耗总量将各城市用电量、天然气和液化石油气消耗量折算为标准煤并取对数得到;碳排放量以二氧化碳排放量(取对数)表示。回归结果如表6第(3)至(7)列所示,能源转型(*DID*)对产业结构高级化、产业结构合理化、城市创新指数的回归系数分别在1%、5%、1%的显著性水平上显著为正,对碳排放和能源消耗的回归系数分别在5%和10%的显著性水平下显著为负。这表明能源转型政策的实施能通过激发企业的技术创新行为,推动新旧动能转换,提高能源利用效率,优化产业结构,从而减少生产的非期望产出,增强城市生态韧性,验证了假说3。

$$TL_{it} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_i}{Y} \right) \ln \left(\frac{Y_i}{Y} / \frac{Y}{L} \right) \quad (12)$$

3.居民响应

为验证居民在能源转型影响生态韧性过程中的行为响应,本文使用城市全年公共汽车客运总量(万人次)取对数衡量居民的绿色出行行为,反映居民选择低碳、环保出行方式的意愿与行为强度。回归结果如表6第(8)列,能源转型政策(*DID*)对公共汽电车载客量的回归系数在1%的显著性水平上显著为正,表明新能源示范城市建设能够增强居民的节能低碳意识,引导居民生活方式向绿色化转变,从而助力城市生态韧性的提升,验证了假说4。

表 6		机制检验结果						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	基础设施 投资	节能环保 支出	产业结构 高级化	产业结构 合理化	城市创新 指数	能源消耗	碳排放	公共汽电 车 载客量
<i>DID</i>	0.076* (0.050)	0.114* (0.060)	0.040*** (0.015)	0.017** (0.007)	0.155*** (0.030)	-0.023* (0.013)	-0.027** (0.011)	0.201*** (0.072)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
地区固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
样本量	4,496	3,915	4,496	4,496	4,496	4,496	4,496	4,496
R ²	0.810	0.750	0.864	0.802	0.942	0.960	0.978	0.242

(四)进一步分析

1.政治激励的调节效应分析

地方政府在新能源示范城市建设中的行为方式高度依赖于政治激励机制和政绩考核体系的导向作用。尽管示范城市建设具有“中央请客、地方买单”的特点,表现出一定的弱激励性和弱约束性。但随着我国政府官员政绩考核体系从单一的GDP增长导向转向绿色GDP等综合指标导向,环保与政府官员绩效考核挂钩,地方政府落实新能源示范城市建设的动机显著增强。本文参考纪志宏等(2014)的研究思路,使用官员年龄特征来表示政府的晋升激励。具体而言,若官员年龄大于54岁,则晋升空间较低,政治激励较弱;如果年龄小于54岁,则晋升激励较强。此外,随着我国干部人事制度的改革,地方官员的更替成为一种常态,由此带来的“新官上任三把火”效应,会强化辖区内的基础设施建设动机(丁从明等,2015)。综上,本文通过设置虚拟变量的方式进行验证,若城市当年市委书记的年龄小于54岁,则赋值为1;反之为0。若城市当年市委书记换届,则赋值为1,反之为0。地方官员数据来源于CCER官员数据库。结果如表7第(1)、(2)列所示,无论是年龄激励还是任期激励,都能显著提高能源转型的生态效益。

从现实背景来看,这种结果的出现有其合理性。一方面,地方政府官员的晋升激励直接影响其政策执行的积极性。在有限的任期内,官员倾向于优先推动符合政策导向的项目,以积累政绩。新能源示范城市建设作为一项重要的战略部署,既能够提升城市的绿色形象,又可为官员的政绩加分。因此,年轻的官员或新上任的官员更倾向于积极推动新能源示范城市建设。另一方面,城市灾害事件的频发及其严重程度,影响着政府官员的政绩表现和责任意识。极端气候导致城市受灾风险显著上升,在这种背景下,政府官员面临着

来自社会和上级政府的双重压力,要求其提升城市的抗灾能力以减少灾害损失,保障民众生命财产安全。

2.资源禀赋的异质性分析

能源转型的政策效果不仅取决于政府执行力度,还受到城市间资源禀赋差异的调节。资源禀赋通过影响产业结构和发展路径,进而对政策效果产生异质性作用。而基于整体样本的参数估计结果掩盖了政策效应的资源禀赋异质性。因此,本文依据《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)》界定的资源型城市名单,将样本划分为资源型与非资源型城市进行分组回归。其中,资源型城市赋值为1,非资源型城市赋值为0。结果如表7第(3)、(4)列所示,能源转型政策对非资源型城市生态韧性的影响系数在1%的水平上显著为正,而对资源型城市的生态韧性影响系数为负但不显著。

可能原因在于,资源型城市因长期依赖资源型产业形成路径依赖,面临“资源诅咒”困境,其高耗能、高污染的产业特征导致能源转型面临结构性阻力。相比之下,非资源型城市对本地资源依赖较低,产业结构多元化,且面临传统能源成本约束,对可再生能源的需求更强,能源转型面临的产业结构阻力更小,因而生态韧性提升效应更为显著。

表7 进一步分析

	(1)	(2)	(3)	(4)
	年龄激励	任期激励	资源型城市	非资源型城市
<i>DID</i>	0.020** (0.008)	0.019** (0.008)	-0.020 (0.013)	0.036*** (0.008)
控制变量	控制	控制	控制	控制
地区固定	控制	控制	控制	控制
时间固定	控制	控制	控制	控制
样本量	4,496	4,496	1,792	2,704
R ²	0.692	0.692	0.730	0.643

3.空间溢出效应分析

能源转型政策本质上属于一类典型的环境规制工具,已有研究表明,环境规制政策的影响往往突破行政边界,表现出空间溢出特征,且这种空间影响可能具有双面性(戴永安、张潇, 2023)。一方面,严格的环境规制可能促使高污染产业向外转移,引发“污染避难所效应”;另一方面,要素跨区域流动、知识溢出与技术扩散也可能带动邻近地区绿色技术进步。循着这一逻辑,能源转型政策同样可能存在空间溢出效应。其一,试点城市的资本、技术与新能源产业经验可通过要素跨区域流动,为周边地区能源转型提供支撑;其二,示范城市内部环境约束趋严也可能推动部分传统高耗能产业向邻近地区转移,加之大气、水体等污染物本身具有自

然扩散属性,可能间接影响周边城市的生态韧性水平。因此,识别能源转型政策的空间溢出效应对于全面评估其生态影响效果至关重要。

为验证上述空间溢出效应,本文首先构建空间权重矩阵,考虑到城市间的关联性同时受到地理邻近性与经济发展水平的双重影响,本文采用经济地理嵌套矩阵(式13)进行空间计量分析,其中权重比例参数 α 设定为0.5。其次,采用全局莫兰指数对城市生态韧性的空间相关性进行检验。结果如表8所示,2006—2021年各年生态韧性的全局莫兰值均显著为正,表明生态韧性在空间上呈现明显的集聚特征。进一步通过莫兰散点图考察样本城市局部的空间相关性,结果如图4显示,地级市生态韧性主要分布在第一、三象限,呈现明显的高值集聚、低值集聚的空间集聚形态。以上检验均表明生态韧性存在显著的空间相关性,有必要采用空间计量模型进行检验。结合本文研究问题与数据特征,本文构建双向固定效应空间杜宾模型(公式14)进行实证检验。该模型既可以捕捉城市生态韧性的空间滞后效应,又能分解能源转型政策的直接效应与空间溢出效应,更贴合本文识别政策空间影响的研究需求。

$$W_{ij}^{de} = \begin{cases} \alpha \times W_{ij}^d + (1-\alpha) \times W_{ij}^e, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases} \quad (13)$$

$$ER_{it} = \alpha_0 + \rho WER_{it} + \alpha_1 DID_{it} + \lambda DID_{it} + \eta Controls_{it} + \theta WControls_{it} + \mu_i + \varphi_t + \delta_{it} \quad (14)$$

表8 莫兰指数

2006	2007	2008	2009
0.322*** (10.691)	0.464*** (15.320)	0.186*** (6.289)	0.113*** (3.903)
2010	2011	2012	2013
0.187*** (6.328)	0.153*** (5.285)	0.207*** (7.003)	0.156*** (5.285)
2014	2015	2016	2017
0.230*** (7.718)	0.241*** (8.111)	0.458*** (15.136)	0.242*** (8.065)
2018	2019	2020	2021
0.271*** (9.024)	0.233*** (7.756)	0.182*** (6.085)	0.245*** (8.120)

注:***代表通过1%的显著性检验,括号内为Z值。

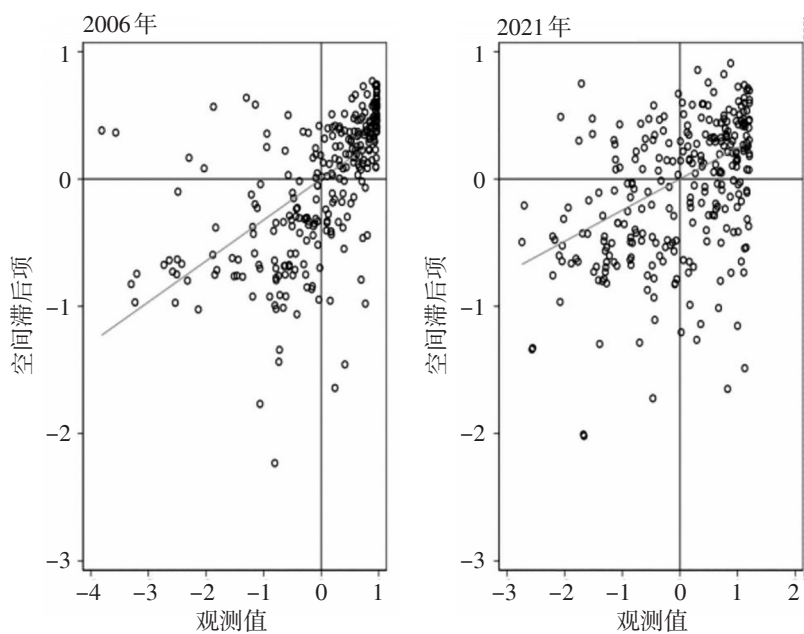


图4 莫兰散点图

表9展示了相应估计结果,能源转型政策对本地区及邻近城市的生态韧性影响均显著为正,验证了能源转型政策空间溢出效应的存在。为了具体分析溢出作用的强度,借鉴 Lesage 和 Pace(2009)提出的偏微分分解方法,将能源转型政策的总效应进一步分解为直接效应、间接效应与总效应。结果显示,三者系数均显著为正,表明能源转型政策不仅能显著提升试点城市自身的生态韧性,还能对邻近城市的生态韧性产生正向辐射带动作用,验证了上文的理论预期。

表9 空间计量结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Main	W _x	Direct	Indirect	Total
<i>DID</i>	0.012* (0.007)	0.065*** (0.019)	0.016** (0.008)	0.099*** (0.027)	0.115*** (0.030)
ρ	0.308*** (0.025)				
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
地区固定	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定	控制	控制	控制	控制	控制
样本量	4,496	4,496	4,496	4,496	4,496
R ²	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100

五、结论与政策建议

能源系统作为城市社会—生态系统的核心基础设施,其供应稳定性与结构灵活性直接影响城市生态系统的抗扰动与恢复能力。本文以新能源示范城市建设(NEDC)为准自然实验,基于2006—2021年中国281个地级市及以上城市的面板数据,运用双重差分与空间计量模型,从政府、企业和居民三个维度识别能源转型政策对城市生态韧性的影响及其机制。主要结论如下:能源转型政策显著提升了城市生态韧性。其作用机制如下:政府维度,政策通过增加能源转型相关基础设施投入,完善了城市能源基础设施;企业维度,政策通过激励企业绿色技术创新与产业结构升级降低生产端能耗强度;居民维度,政策通过培育居民清洁消费偏好减少终端能源需求。进一步分析表明,地方官员的晋升激励显著增强了政策效果;政策对非资源型城市的生态韧性提升效应更显著,资源型城市因产业路径依赖与生态本底脆弱性,政策效果受限。空间计量结果显示,能源转型政策具有显著正向空间溢出,不仅有利于增强本地区生态韧性,也对邻近城市生态韧性的提升产生正向溢出作用。

根据上述研究结论,本文尝试提出以下几点政策建议:

第一,持续稳妥推进能源绿色低碳转型。本文研究证实,新能源示范城市建设显著提升了城市生态韧性,因此需进一步完善机制保障体系,强化政策落地效能。具体而言,一是强化技术与金融支持。技术层面,聚焦储能、系统灵活调节等核心技术领域加大攻关支持力度,推动能源技术与数字技术深度融合以破解转型技术瓶颈;金融层面,完善绿色金融服务体系,设立能源转型基金,重点为核心技术开发、新能源项目落地提供长期资金支持,并鼓励金融机构创新绿色金融产品,引导社会资本有序参与能源转型。二是健全考核与监管机制。本文的进一步分析表明,地方政府政治激励是能源转型顺利推进的重要保障,因此可将能源转型成效等核心指标纳入地方政府绩效考核体系,同时加强新能源市场监管,防范“伪转型”、“生态破坏式转型”等异化问题。三是加强经验推广与合作,总结新能源示范城市在技术应用、政策配套、市场培育等方面的可复制经验,向具备产业基础和资源禀赋的城市推广,从而扩大政策辐射效应。此外,依托全国统一大市场建设,打破区域行政壁垒,推动各地政府、企业在新能源领域构建合作学习机制,发挥网络协同效应,进而形成全国一盘棋的能源转型格局。

第二,能源转型对生态韧性的赋能效果,有赖于政府、企业、居民三大主体协同发力,而非单一主体推动。为此,应立足三类主体的行为逻辑,构建激励相容、联动高效的治理体系。具体而言,一是强化地方政府能源转型响应的主动性。地方政府作为政策引导者与统筹者,应聚焦能源转型与生态环境提升目标,优化政策配套衔接,主动推进新能源项目落地实施,打破区域行政壁垒,牵头搭建跨区域协同转型平台,统筹协调技术、资金等核心要素配置,破解能源转型中的政策碎片化、区域协同不足等问题,为企业转型、居民参与提供良好政策环境。二

是激发企业绿色转型内生动力。企业作为能源转型核心载体,应依托研发费用加计扣除、绿色信贷贴息等优惠政策,重点开展新能源技术研发、节能降碳改造与产业链绿色化升级。试点城市可搭建绿色技术共享平台、产学研用协同创新中心,推动龙头企业将绿色技术向上下游企业扩散。同时,完善绿色产品认证与政府采购制度,以市场需求引导企业持续参与能源转型,破解企业转型动力不足、创新意愿不强的难题。三是从需求侧夯实能源转型的社会基础。居民作为终端用能主体,是能源转型持续推进的重要支撑。一方面,在新能源示范城市扩大居民侧清洁能源应用场景,推广分布式光伏入户、新能源汽车购置补贴等措施,降低居民对化石能源的依赖,减少污染排放;另一方面,建立居民绿色用能激励机制,通过绿色用电补贴、绿色出行积分等方式,引导居民主动选择清洁用能方式,形成稳定的清洁能源需求。通过居民能源消费结构转型,为新能源消纳提供持续市场支撑,进而从需求侧巩固能源转型成效。

第三,差异化精准施策。依据本文异质性分析结论,应针对资源禀赋差异实施分类引导,提升能源转型政策的靶向性。在非资源型城市,可充分依托其产业结构多元、转型阻力小的优势,以创新驱动深化产业融合,推动可再生能源在工业、交通、建筑等重点领域的规模化应用,鼓励发展综合能源服务、虚拟电厂等新业态,同时加大绿色技术研发与成果转化支持力度。在资源型城市,必须立足“资源诅咒”与路径依赖约束,坚持“先立后破”的转型策略。一方面,依托原有产业基础,推动经济结构由单一资源依赖型向新能源多元支撑模式转型,培育绿色低碳接续产业作为新增长极;另一方面,建立中央与地方联动政策体系,分区域、分阶段有序推动煤炭消费减量替代,防范转型过程中出现经济失速、发展失衡问题。同时,完善就业安置、技能培训与转型金融支持体系,为资源型城市公正转型提供保障。

第四,深化区域协同联动,充分释放能源转型的空间溢出效应。根据本文空间计量检验所揭示的政策外溢特征,应加快构建跨区域协同治理格局。一是搭建区域协同转型平台,建立跨区域能源转型协作机制,推动试点城市与周边地区在新能源技术共享、产业配套、生态联防联控等方面的合作,通过共建绿色技术创新联盟与产业转移承接基地,促进资本、技术、人才等要素高效流动,强化空间集聚效应。二是以城市群为载体构建跨区域能源协作网络,强化新能源产业链上下游联动,在提升区域经济韧性的同时,为生态韧性的提升提供物质基础。三是制定区域统一的能源转型规划与绿色发展标准,统筹项目布局与生态保护,避免同质化建设和恶性竞争。

参考文献:

- [1] 程洪飞,李豫新. 能源转型与减污降碳协同治理——基于新能源示范城市政策的准自然实验[J]. 华东经济管理,2025,39(12):108-118.
- [2] 楚尔鸣,孙红果,李逸飞. 智慧城市建设对生态环境韧性的影响研究[J]. 管理学报,2023,36(06):

21-37.

- [3] 戴永安,张潇. 环境政策的空间溢出与城市能源偏向型技术进步[J]. 世界经济,2023,46(05):119-151.
- [4] 丁从明,刘明,廖艺洁. 官员更替与交通基础设施投资——来自中国省级官员数据的证据[J]. 财经研究,2015,41(04):90-99.
- [5] 丁芸. 促进新能源产业发展的财税政策选择[J]. 税务研究,2016,(06):14-19.
- [6] 干春晖,郑若谷,余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J]. 经济研究,2011,46(05):4-16+31.
- [7] 胡丽娜,薛阳. 财政环保支出、财政压力与绿色发展[J]. 软科学,2023,37(09):39-46.
- [8] 纪志宏,周黎安,王鹏,等. 地方官员晋升激励与银行信贷——来自中国城市商业银行的经验证据[J]. 金融研究,2014,(01):1-15.
- [9] 黎文靖,郑曼妮. 实质性创新还是策略性创新?——宏观产业政策对微观企业创新的影响[J]. 经济研究,2016,51(04):60-73.
- [10] 李维露,张明斗. 黄河流域城市人口集聚与土地生态韧性的协同性研究[J]. 干旱区地理,2025,48(04):728-738.
- [11] 李雪铭,刘凯强,田深圳,等. 基于 DPSIR 模型的城市人居环境韧性评价——以长三角城市群为例[J]. 人文地理,2022,37(01):54-62.
- [12] 吕鹏,黄送钦. 环境规制压力会促进企业转型升级吗[J]. 南开管理评论,2021,24(04):116-129.
- [13] 吕添贵,胡晗,付舒斐,等. 长三角地区城市生态韧性时空分异特征及影响因素[J]. 地域研究与开发,2023,42(01):54-60.
- [14] 欧阳晓,陈键,魏晓,等. 长江中游城市群生态韧性时空分异格局与演化机理[J]. 地理学报,2025,80(06):1572-1584.
- [15] 潘敏,刘红艳,程子帅. 极端气候对商业银行风险承担的影响——来自中国地方性商业银行的经验证据[J]. 金融研究,2022,(10):39-57.
- [16] 石龙宇,郑巧雅,杨萌,刘玲玉. 城市韧性概念、影响因素及其评估研究进展[J]. 生态学报,2022,42(14):6016-6029.
- [17] 史晨辰,朱小平,王辰星,吴锋. 韧性城市研究综述——基于城市复杂系统视角[J]. 生态学报,2023,43(4):1726-1737.
- [18] 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(06):95-108+195.
- [19] 苏晨晨,柳艳红. 能源转型与企业环境责任履行——基于新能源示范城市建设的政策实验[J]. 企业经济,2025,44(04):78-88.
- [20] 孙铭,王茗旭. 数字经济发展对生态韧性影响的机制及效应分析[J]. 环境科学,2025,46(07):4602-4614.
- [21] 王建明. 环境情感的维度结构及其对消费碳减排行为的影响——情感—行为的双因素理论假说及其验证[J]. 管理世界,2015,(12):82-95.
- [22] 王强,党牛,蒋子龙,等. 碳中和背景下能源转型研究综述与展望[J]. 地理学报,2025,80(03):586-604.
- [23] 王少剑,崔子恬,林靖杰,等. 珠三角地区城镇化与生态韧性的耦合协调研究[J]. 地理学报,2021,76(04):973-991.
- [24] 王松茂,牛金兰. 山东省旅游经济与城市生态韧性协同演化研究[J]. 地理学报,2023,78(10):2591-2608.
- [25] 魏巍贤,马喜立. 能源结构调整与雾霾治理的最优政策选择[J]. 中国人口·资源与环境,2015,25(07):6-14.

- [26] 姚鸣奇,张卓群,郑艳,等. 海绵城市试点建设提高了生态韧性吗?——一项准自然实验[J]. 城市发展研究, 2023, 30(04): 25-33.
- [27] 尹碧波, 邝萍. 智慧城市的碳减排效应研究: 基于双重机器学习的因果推断[J]. 统计与信息论坛, 2025, 40(03): 73-86.
- [28] 张明斗, 冯晓青. 长三角城市群内各城市的城市韧性与经济发展水平的协调性对比研究[J]. 城市发展研究, 2019, 26(01): 82-91.
- [29] 张卓群, 姚鸣奇, 张晓慧. 水生态文明城市建设试点对水生态韧性的影响研究[J]. 城市问题, 2023, (10): 45-53.
- [30] 赵领娣, 孙兆旭. 海岸带城市经济发展质量与生态韧性协同发展演化及空间收敛特征[J]. 经济地理, 2023, 43(07): 119-129+240.
- [31] 朱嘉伟, 谢晓彤, 李心慧. 生态环境承载力评价研究——以河南省为例[J]. 生态学报, 2017, 37(21): 7039-7047.
- [32] 朱静敏, 卢小丽. 数字经济提升旅游经济韧性的作用机制及空间效应[J]. 地理科学进展, 2024, 43(10): 2004-2020.
- [33] Chaudhuri, S., J. Jalan, A. Suryahadi. Assessing Household Vulnerability to Poverty from Cross-Sectional Data: A Methodology and Estimates from Indonesia[R]. Discussion Papers, 2002.
- [34] Cheng, Z., X. Yu, Y. Zhang. Is the Construction of New Energy Demonstration Cities Conducive to Improvements in Energy Efficiency?[J]. Energy, 2023, 263: 125517.
- [35] Ding, Y., C. Bi, Y. Qi, et al. Coordinated Governance of Energy Transition Policy and Pollution and Carbon Reduction: A Quasi-Natural Experiment Based on New Energy Demonstration City Policy[J]. Energy Strategy Reviews, 2024, 53: 101395.
- [36] Holling, C. S. Resilience and Stability of Ecological Systems[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973, 4(1): 1-23.
- [37] Jing, R., Y. Lin, N. Khanna, et al. Balancing the Energy Trilemma in Energy System Planning of Coastal Cities[J]. Applied Energy, 2021, 283: 116222.
- [38] LeSage, J., R. K. Pace. Introduction to Spatial Econometrics[M]. New York: CRC Press, 2009.
- [39] Meerow, S., J. P. Newell. Spatial Planning for Multifunctional Green Infrastructure: Growing Resilience in Detroit[J]. Landscape and Urban Planning, 2017, 159: 62-75.
- [40] Wang, J., W. Zhou, S. T. A. Pickett, et al. A Multiscale Analysis of Urbanization Effects on Ecosystem Services Supply in an Urban Megaregion[J]. Science of the Total Environment, 2019, 662: 824-833.
- [41] Wang, S., L. Ma. Does New Energy Demonstration City Policy Curb Air Pollution? Evidence from Chinese Cities[J]. Science of the Total Environment, 2024, 918: 170595.
- [42] Wang, X., R. Long, Q. Sun, et al. Spatial Spillover Effects and Driving Mechanisms of Carbon Emission Reduction in New Energy Demonstration Cities[J]. Applied Energy, 2024, 357: 122457.

Research on the Impact of Energy Transition Policy on Urban Ecological Resilience

Hou Xinshuo^{a,b}, Li Zhen^a, Gui Si^a, Wu Kaijie^a, Wu Jie^c

(a: School of Business, Xiangtan University; b: China–Africa Research Institute, Xiangtan University;
c: School of Humanities, Guangzhou University)

Abstract: Urban ecological resilience refers to the capacity of urban ecosystems to cope with disturbances, adapt to changes, and achieve sustainable development. The New Energy Demonstration City (NEDC) program is an important pilot initiative in China’s energy transition. This paper treats the program as a quasi–natural experiment for energy transition policy. Based on panel data for 281 Chinese cities at the prefecture level and above from 2006 to 2021, this paper employs a difference–in–differences model to evaluate the impact of energy transition policy on urban ecological resilience and its underlying mechanisms. The findings show that energy transition policy significantly improves urban ecological resilience, and this conclusion still holds after various robustness checks. Mechanism analysis indicates that the policy operates through three channels: incentivizing governments to increase investment in energy transition infrastructure and fiscal expenditure on energy conservation and environmental protection, promoting corporate green technological innovation and industrial structural upgrading, and guiding residents to develop green consumption preferences. Further analysis shows that local government political incentives positively moderate the policy’s effect on enhancing urban ecological resilience. Heterogeneity analysis reveals that, compared with resource–based cities, the policy has a more pronounced effect on improving urban ecological resilience in non–resource–based cities. Spatial effect tests indicate that the policy’s enhancement of urban ecological resilience has significant spatial spillover effects. This paper provides important theoretical basis and empirical support for differentiated promotion of regional green energy transition and the improvement of urban ecological resilience under the “Dual Carbon” goal.

Keywords: New Energy Demonstration City Development; Energy Transition Policy; Urban Ecological Resilience; Policy Spillover

JEL Classification: Q50

(责任编辑:卢 玲)