引用格式：周德才，戴豪宇，黄凯．新能源示范城市建设能否提升环境福利绩效？——基于自然地理与社会经济要素的双重视角[J]．技术经济，2026，45(5)：109-124.

Zhou Decai，Dai Haoyu，Huang kai．New energy demonstration city and environmental welfare performance：Based on the dual perspective of natural geographic and socio-economic elements[J]．Journal of Technology Economics，2026，45(5)：109-124.

技术经济评价

新能源示范城市建设能否提升环境福利绩效？

——基于自然地理与社会经济要素的双重视角

周德才[1]，戴豪宇[2]，黄　凯[1]

（1. 南昌大学经济管理学院，南昌 330031；2. 武汉大学经济与管理学院，武汉 430072）

摘　要：新能源示范城市(NEDC)政策是推动能源转型与实现“双碳”目标的重要措施，系统地评估其对环境福利绩效的影响对于增进能源的可持续化与居民福祉至关重要。将经济发展、环境污染与居民健康因素同时纳入环境福利绩效，并运用两阶段网络超效率 SBM 对其进行测算，进而就 NEDC 政策对环境福利绩效的影响进行评估。研究发现：第一，NEDC 政策显著促进了环境福利绩效的提升，在进行一系列稳健性检验后，结论依然成立。第二，环境规制，平均气温在 NEDC 政策对环境福利绩效的影响过程中发挥正向调节作用，平均海拔发挥负向调节作用，NEDC 政策通过提升能源利用效率与新型基础设施建设促进环境福利绩效的提升。第三，在地理区位上，NEDC 政策对环境福利绩效的影响在东部地区、南方地区的作用更加显著，在“胡焕庸”线两侧地区均显著；在城市特征上，对超大型城市、中心城市及具有碳交易平台的城市促进作用更加显著，对特大城市反而具有抑制作用。第四，NEDC 政策对环境福利绩效的影响存在正向的空间溢出效应。研究为政府优化能源发展与增进居民福祉提供政策启示。

关键词：新能源示范城市；环境福利绩效；两阶段网络超效率 SBM；自然地理要素；社会经济要素；双重机器学习

中图分类号：F062.4　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1002-980X(2026)05-0109-16

DOI：10.12404/j.issn.1002-980X.J25120322

一、引言

随着经济社会的快速发展，全球对能源的需求呈现指数级增长。这一趋势不仅加速了传统能源的枯竭，更带来了严峻的环境污染与气候风险挑战。在此背景下，联合国提出的可持续发展目标，尤其是第七个目标①，成为全球共同努力的方向。该目标旨在确保人人都能获得负担得起、可靠且可持续的现代能源，通过推动能源结构的深刻转型，实现环境友好、社会公正与经济的包容性增长。

新能源的发展，作为应对传统能源危机和环境污染的重要路径，正推动着全球能源结构转型。王强等[1]研究表明，风能和太阳能等可再生能源的广泛利用，不但有助于减少对化石燃料的依赖，而且为利用新能源应对传统能源带来的环境挑战提供了新思路。然而，新能源应用并非孤立存在，会受到自然地理条件和经济社会条件的双重影响。一些学者的研究表明，不同的地理条件不仅会显著影响可再生能源的生产和

收稿日期：2025-12-03

基金项目：国家社会科学基金一般项目“基于混频大数据的经济不确定性实时灵活动态测度及其风险预测与预警研究”(22BTJ015)；江西省高校人文社会科学研究一般项目“基于多尺度框架的中国系统性金融风险高维灵活时变测度、传导机制及防范对策研究”(TJ24102)；江西省教育科学“十四五”规划课题重点项目“高等教育影响中国式经济现代化的效应测度、路径优化及其耦合协调度研究”(23ZD001)

作者简介：周德才(1976—)，博士，南昌大学经济管理学院教授，研究方向：金融经济；(通信作者)戴豪宇(2004—)，武汉大学经济管理学院硕士研究生，研究方向：技术经济；黄凯(1991—)，南昌大学经济管理学院博士研究生，研究方向：机器学习统计。

① 联合国可持续发展第七项目标(SDG7)是经济适用的清洁能源。

利用效率,而且这些影响存在异质性[2]。因此,理解这些自然地理要素与经济社会要素之间的相互作用,对于推动新能源政策的实施至关重要。在此背景下,环境福利绩效作为衡量经济发展、环境保护与社会福祉协调统一的重要指标,日益受到政府和学界的广泛关注。当前,如何在政策制定和实施中平衡经济发展、环境保护与社会福祉之间的复杂关系,成为一个亟待解决的现实问题。新能源示范城市(NEDC)作为推动绿色发展的重要载体,其政策的有效性直接影响环境福利绩效。因中国各城市的气候、海拔、地势等自然地理特征存在明显差异,适宜发展的新能源种类亦各有侧重。例如,依海而建的城市在风力和潮汐能源的开发上更具潜力,而地处沙漠边缘的城市则在太阳能资源的利用上更具优势。由此可见,即便是同一新能源政策,在面临不同的自然地理条件时,其对环境福利绩效的影响可能也会有所不同。为此,本文突破传统的经济社会因素的单一视角,从自然地理因素与经济社会因素的双重视角出发,深入考察NEDC对环境福利绩效的影响。

随着中国能源消耗、生态保护与经济增长三者间的矛盾日益凸显,中国对可再生能源发展的重视程度持续提升,相继出台一系列政策法规予以支持,后续又将其纳入"十一五"与"十二五"时期的国家规划,构建起衔接有序的政策支撑体系。为落地可再生能源发展"十二五"规划,推动可再生能源在城市生产生活场景中的规模化应用,国家能源局于2012年启动NEDC申报工作,明确了严格的申报准入条件和评价标准。申报需同时满足综合能力与新能源利用基础双重要求:综合能力涵盖主要污染物减排、能源消耗强度控制等核心指标;新能源利用基础则以新能源消费占比达标为核心依据。评价指标体系具体包括四类:一是新能源利用量指标;二是分类新能源利用指标;三是组织管理和激励政策指标;四是宣传教育指标。NEDC通过推动新能源利用技术迭代升级和城市场景深度推广,构建现代化能源利用体系。根据上述标准,对各地区上报的规划方案进行严格审核,于2014年公布第一批NEDC及产业园区创建名单,涵盖北京市昌平区等81座城市与8个产业园区,标志着中国NEDC建设正式步入落地实施阶段。此后,NEDC建设不断推进,在能源结构优化、产业绿色升级上实现有效突破,低碳发展模式和实践经验逐步成型,为全国能源转型和绿色发展提供了重要的示范和支撑。

在NEDC政策的研究中,已形成从环境污染治理、宏微观效应拓展到空间溢出的演进脉络。在环境污染治理上,林育妙等[3]通过实证分析验证了NEDC政策在污染减排上的短期成效;王晨圣和杨乐[4]发现,NEDC通过政府政策引导,促进绿色技术创新,优化了能源资源的使用结构;周安华和王赛鸽[5]从企业微观层面证明了NEDC的设立有效提升了企业的绿色技术创新能力,显著推动了能源优化与可持续经济发展,展现了从宏观政策引导到微观企业响应的深化趋势;王俊豪等[6]证实绿色技术创新是提升能源效率的核心渠道。近期研究进一步突破单城市局限,王玉晖和敬莉[7]揭示了政策的空间溢出效应。现有研究多聚焦于单一环境指标的改善,尚未将分散的发现整合到综合性框架中,同时缺乏文献考虑NEDC建设带来的居民福祉改善效应。这一缺口为本文提供了核心研究逻辑——将经济发展效应、环境污染与居民健康因素同时纳入综合性框架,构建环境福利绩效的综合影响评价指标。这一研究逻辑既弥补了现有研究在评价维度上的不足,也为政策效应的全面评估提供了新的分析视角。

在环境福利绩效的测量和分析中,传统福利经济学基于效用理论,社会福利的提升与消费者剩余的增加密切相关,认为任何提升消费者剩余的措施都有助于实现帕累托最优,即资源配置的最有效状态。然而,生态环境作为公共资源,具备非排他性、非竞争性、外部效应及产权界定模糊等特性,这些特征往往导致市场失灵,使得自然资本的消耗超过社会最优水平。过去的研究多集中于评估环境破坏带来的经济损失,采用生态补偿机制等方法[8]。然而,这些研究往往侧重于价格在资源配置中的作用,忽略了人类健康和幸福感等"功能"要素,这些要素与商品和传统效用理论本质上有所不同[9]。张天尧等[10]的研究指出,环境污染对人类健康构成了严重威胁。因此,本文在传统福利经济学中的货币因素基础上,进一步纳入了公众健康和环境污染等因素,旨在增强环境福利绩效测度的全面性和系统性。通过这种综合视角,能够更全面地评估NEDC政策的社会影响,推动资源配置向可持续和人性化的方向发展。

在环境福利绩效影响因素的研究中,呈现出从单一维度验证到多维度整合探索的演进脉络:在单一因素中,Rasheed等[11]考查了可再生能源政策与工业绩效、碳足迹的关联,Silvestri等[12]探讨了可再生能源政

策对能源-经济-环境绩效的影响，均验证了政策的直接作用，随着研究推进，开始关注技术创新的传导机制，Lin 和 Xu [13]揭示了技术创新通过提升效率、减少排放改善能源环境绩效的路径，范玉莹等[14]进一步阐明了 NEDC 政策通过驱动绿色技术创新改善环境的逻辑；在多维度因素中，Xu[15]分析了社会经济因素对中国能源-碳绩效的区域异质性影响，Xu 等[16]强调了居民参与和社会资本的关键作用。现有研究虽从能源绩效、碳绩效等侧面展开分析，但尚未建立多维度协同的综合测度体系，也缺乏对各因素交互作用的动态分析，这一缺口不仅导致对环境福利绩效的评估缺乏全面性，也为本文的研究设计提供了核心切入点。

综上，尽管现有研究为本文构建了初步的分析框架，但仍存在一些不足。第一，在研究主题选取上，现有研究主要聚焦于 NEDC 与相关绩效的独立分析上，而对于 NEDC 政策如何具体影响环境福利绩效的专题探讨尚显匮乏。第二，在研究视域涵盖上，现有研究往往局限于 NEDC 政策对环境、经济、能源等某些方面的局部效应评估，缺乏从宏观到微观的全面考察。第三，在环境福利绩效评估上，现有研究多局限于宏观层面的投入-产出单一视角，未能将经济发展、环境污染及居民健康等关键要素综合纳入考量，从而影响了评估的全面性。第四，在测度方法上，未能克服“黑箱”内部效率的测度问题，使得测度结果不能较好地反映指标特征。第五，在作用机制探究上，现有研究大多仅从经济社会因素单一视角出发，缺乏自然地理因素与经济社会因素双重视角，限制了对 NEDC 政策作用机制的全面揭示。为应对上述挑战，本文旨在提出并解答以下核心问题：如何构建一个科学系统的环境福利绩效综合评估体系？NEDC 政策对环境福利绩效的影响作用是否显著，其作用机制又是如何？在不同地理区位与城市特征下，这些影响是否展现出异质性，同时其空间效应又如何？

为此，本文的边际贡献主要体现在以下四个方面。第一，主题创新，即首次专门针对 NEDC 政策对环境福利绩效的影响展开专题研究，为该领域提供了新的研究视角和有益尝试。第二，视域拓展，即通过综合考虑总体及其宏观、微观部分三个层面的环境福利绩效，全面剖析了 NEDC 政策的多维度影响效应。第三，评估框架优化，即将经济发展、环境污染与居民健康因素整合进环境福利绩效评估体系，并运用两阶段网络超效率 SBM 模型对其进行测度，提升了评估的综合性和精确性。第四，机制深化，即从自然地理要素与经济社会要素的双重视角出发，不仅证实了 NEDC 政策对环境福利绩效的作用机制，而且进一步揭示了其城市异质性及空间效应，为政策制定提供了更为细致和深入的依据。

二、理论分析与研究假设

（一）NEDC 政策与环境福利绩效

本文的理论分析以马克思“第一自然”与“第二自然”的关系为整体的分析框架，“第一自然”作为人类社会赖以生存的自然地理基础，其气温、海拔、降雨量等自然地理要素构成了环境福利绩效的原生约束条件；“第二自然”则是人类通过经济社会活动构建的人工系统，能源转型、环境规制和城市治理等经济社会要素构成了环境福利绩效的能动调节变量。基于这一框架，本文将自然地理要素和经济社会要素纳入统一分析框架，既揭示了“第一自然”在 NEDC 建设赋能环境福利绩效过程中的调节作用，也阐明“第二自然”通过政策干预、技术创新和空间互动对环境福利绩效的提升机制，从而在双重维度下解析 NEDC 政策影响环境福利绩效的内在逻辑。

NEDC 政策影响环境福利绩效的具体机制路径如图 1 所示。从理论上讲，NEDC 政策对环境福利绩效的影响作用机理主要包含以下方面。第一，环境库兹涅茨曲线（EKC）理论指出，在经济发展初期，环境污染往往随收入提升而加剧，但经济达到一定水平后，环境污染将逐渐减退[17]。NEDC 政策凭借严格的环境标准和绿色技术创新的激励，加速了环境污染的削减进程，促使经济增长与环境优化的拐点提前到来，能够有力推动环境福利绩效的显著提升。同时，通过优化能源配置、促进清洁能源应用，NEDC 政策有效缓解了城市化进程中的环境与健康压力，进一步增强了环境福利绩效。第二，波特假说指出，合理的环境规制能激发企业的技术创新活力，进而增强其市场竞争力[18]。在技术创新层面，NEDC 政策激励企业加大对新能源技术的投资、研发和创新力度，从而增强市场竞争力，优化企业的环境福利表现。在产品创新层面，通过财政补贴等手段，NEDC 政策引导企业专注于绿色产品和服务的开发，如电动汽车产业，推动了产业的绿色转型和

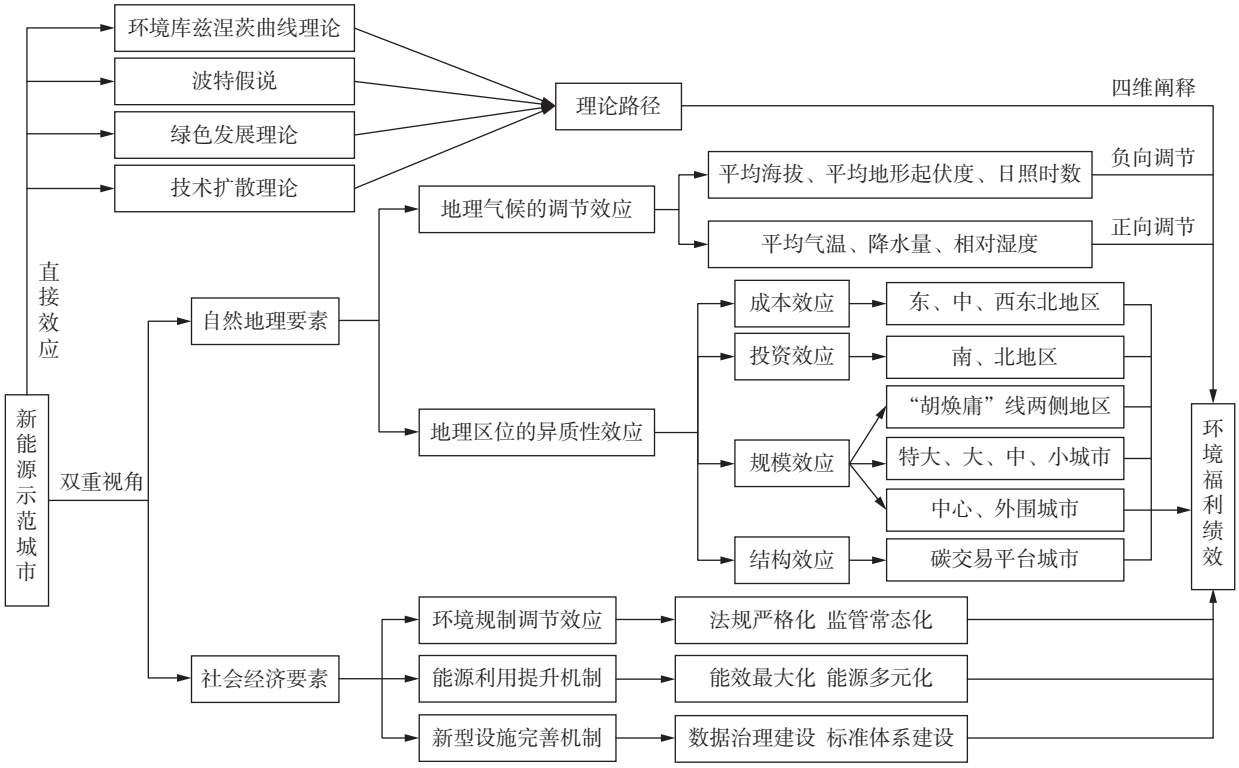

图 1　NEDC 政策影响机制

升级,显著提升了环境福利绩效。第三,绿色发展理念倡导在经济发展过程中实现环境的可持续性[19]。NEDC 政策倡导并推行绿色经济发展模式,加速了传统高耗能、高污染经济模式向绿色低碳化转型,实现可持续发展,从而推动环境福利绩效的提升。第四,技术扩散理论解释了新技术如何在社会群体中传播和被采用,探讨了技术创新如何通过多种渠道在社会系统中扩散并产生影响[20]。此外,NEDC 政策的实施还带来了显著的规模效应。通过建立新能源应用产业园区,发挥各类主体在新能源建设和应用中的积极作用,形成规模效应,进一步推动居民福祉的提升[21]。随着可再生能源的不断建设和发展,其提升环境质量的潜力日益显现,同时与经济社会紧密结合,共同推动可持续发展,更好地提升了民众的生活健康水平。

基于以上分析,本文提出假设:

NEDC 政策能够提升环境福利绩效(H1)。

(二)自然地理要素、NEDC 政策与环境福利绩效

(1)地理气候调节。本文讨论的自然地理要素包括平均海拔、地形起伏、日照时数、气温、降水量和湿度等。高海拔地区通常不利于能源转型,容易导致能源贫困[22],因此可能削弱 NEDC 政策的效果。在地形起伏较大的区域,可再生能源的收集受到地理限制[24],对 NEDC 政策产生负面影响。日照时数与气候变化密切相关,可以提高清洁能源的产出潜力[25],正向调节 NEDC 政策效果。气温较高的地区则倾向于提升能源效率和使用清洁能源,有助于降低能源消耗和环境压力[23],从而增强 NEDC 政策的效果。降水量和湿度会影响某些可再生能源的产量,这些气候因素也能对能源结构和效率产生影响,从而促进 NEDC 政策效果的提升。

基于以上分析,本文提出假设:

平均海拔、平均地形起伏度和日照时数会负向调节 NEDC 政策对环境福利绩效的影响;平均气温、降水量和平均湿度会正向调节 NEDC 政策对环境福利绩效的影响(H2)。

(2)地理区位调节。地理区位通过成本、投资、规模和结构效应等生产机制,导致不同地区 NEDC 政策对环境福利绩效的影响出现显著差异。从成本效应来看,地理区位的差异会影响产业布局和运输成本[26]。中国东部地区由于地理上的优势,更能有效发挥 NEDC 政策的资源配置效应。从投资效应看,南方地区相较

于北方地区，经济增长对投资的依赖程度较低[27]，因此在 NEDC 政策的引导下，南方地区更容易向集约型增长模式转型，进而更好地发挥 NEDC 政策对环境福利的促进作用。从规模效应看，较大的人口和经济规模有助于规模经济的形成，因而可以推断，NEDC 政策在“胡焕庸”线东南侧，尤其是超大型城市和中心城市的环境福利绩效改善效果更加显著。从结构效应看，多元化的产业结构能够增强区域应对经济冲击的能力[28]，而具备碳交易平台的城市通过产业多样化和低碳政策的实施，进一步提高了对环境变化的适应能力[29]，从而更有利于 NEDC 政策对环境福利绩效的促进。

基于以上分析，本文提出假设：

NEDC 政策对环境福利绩效的促进效果在东部地区、南方地区、“胡焕庸”线东南侧地区、超大型城市与碳交易城市中更加显著（H3）。

（三）经济社会要素、NEDC 政策与环境福利绩效

本文的经济社会要素包括环境规制、能源利用效率与新型基础设施。环境规制之所以被纳入经济社会要素并作为调节效应进行分析，是因为它并非自然地理条件，而是由政府制定并执行的制度性政策工具，属于典型的社会经济范畴；同时，环境规制并非 NEDC 提升环境福利绩效的中间传导渠道，而是通过改变地方环境治理约束、企业减排压力与技术创新激励，强化或弱化 NEDC 建设对环境福利绩效的影响程度，因此本文将其作为调节变量，重点分析其在政策效果发挥过程中的和约束作用。一方面，可再生能源的发展，依赖环境政策监管的实施，环境规制在能源转型中发挥着重大作用[30]，同时环境规制能够显著推进当地可再生能源发展[31]；另一方面，环境规制有利于改善居民生活环境质量，提升居民生活福利，能够对环境福利绩效产生积极作用。而 NEDC 政策是以发展可再生能源为目标，推动能源清洁化转型。

基于以上分析，本文提出假设：

环境规制在 NEDC 政策影响环境福利绩效的过程中产生正向调节作用（H4）。

NEDC 政策的实施，会加快试点城市的能源发展转型，吸引各类主体进行投资活动，从而加快推动新能源产业的集聚，推动城市的绿色全要素生产率提升，进而推动环境压力的减小，推动可持续发展[32]。NEDC 政策的实施，会加快新型基础设施建设，如新能源大数据等基础设施。而新型基础设施建设，如数字化与绿色化深度融合，能够推动低碳发展，促进能源综合利用与资源循环利用[33]。同时，数字基础设施能够将资源重新导向 ICT 行业，从而对高碳排放的次级产业产生替代效应，显著降低了对自然资源和化石能源的依赖[34]。

基于以上分析，本文提出假设：

NEDC 政策通过提升能源利用效率与完善新型基础设施建设来促进环境福利绩效（H5）。

三、研究设计

（一）模型设计

本文运用双重差分模型，识别 NEDC 政策对环境福利绩效的影响。基准模型设定如式（1）所示。

$$EWP_{it} = \beta_0 + \beta_1 Did_{it} + \beta_2 Control_{it} + v_i + u_t + \varepsilon_{it} \tag{1}$$

其中：EWP_{it} 为被解释变量，表示城市 i 第 t 年的环境福利绩效水平；Did_{it} 为核心解释变量新能源示范城市的虚拟变量；$Control_{it}$ 为影响环境福利绩效的一系列控制变量集合；v_i 为城市固定效应；u_t 为年份固定效应；ε_{it} 为干扰项；β_1 为本文关心的回归系数，反映 NEDC 对环境福利绩效的影响程度。本文在全文的回归中使用的标准误为聚类稳健标准误，聚类层次为地级市层面，以加强结果的稳健性。

（二）变量选取

1. 被解释变量

本文的被解释变量是环境福利绩效（*EWP*）。在推进人与自然和谐共生的过程中，绿色转型对社会和健康的影响受到越来越多关注。本文在传统福利经济学分析中引入了与环境污染相关的健康因素，旨在使环境福利绩效指标更符合人与自然和谐共生的理念。传统的数据包络分析方法无法有效揭示整体效率波动的具体原因[35]。因此，Kao[36]提出了链状和并联结构的关联网络 DEA 模型，以解决传统方法的“黑箱”问题。基于两阶段网络 DEA 模型[37]，本文选用网络超效率 SBM 方法来测量环境福利绩效。该方法能够在多

个节点上分解决策单元的效率值,突破传统 DEA 模型的局限。参考邵帅等[38]的指标选取与构建,本文构建的模型如图 2 所示。节点 1 的投入要素包括资本、劳动、能源,期望产出为国内生产总值(GDP),分别使用资本存量(万元)、从业人员(万人)、全年用电量(万千瓦时)和地区生产总值(万元)衡量;非期望产出为工业二氧化硫排放量(吨)、烟粉尘排放量(吨)、工业固体废水排放量(吨),节点 1 的结果代表宏观发展绩效(*MDP*)。随后,节点 1 的产出与医疗、科教支出一起作为节点 2 的投入要素,分别使用执业(助理)医师数与科学教育支出衡量;期望产出为居民健康素养、二氧化硫去除量、烟粉尘去除量、废水达标量,非期望产出为居民健康风险,分别使用城镇居民人均可支配收入(万元)、工业二氧化硫去除量、工业烟粉尘去除量、工业废水利用率以及年死亡人口(人)衡量。节点 2 的结果代表微观福利绩效(*MEP*)。最后,通过节点 1 和节点 2 的计算得出环境福利绩效。

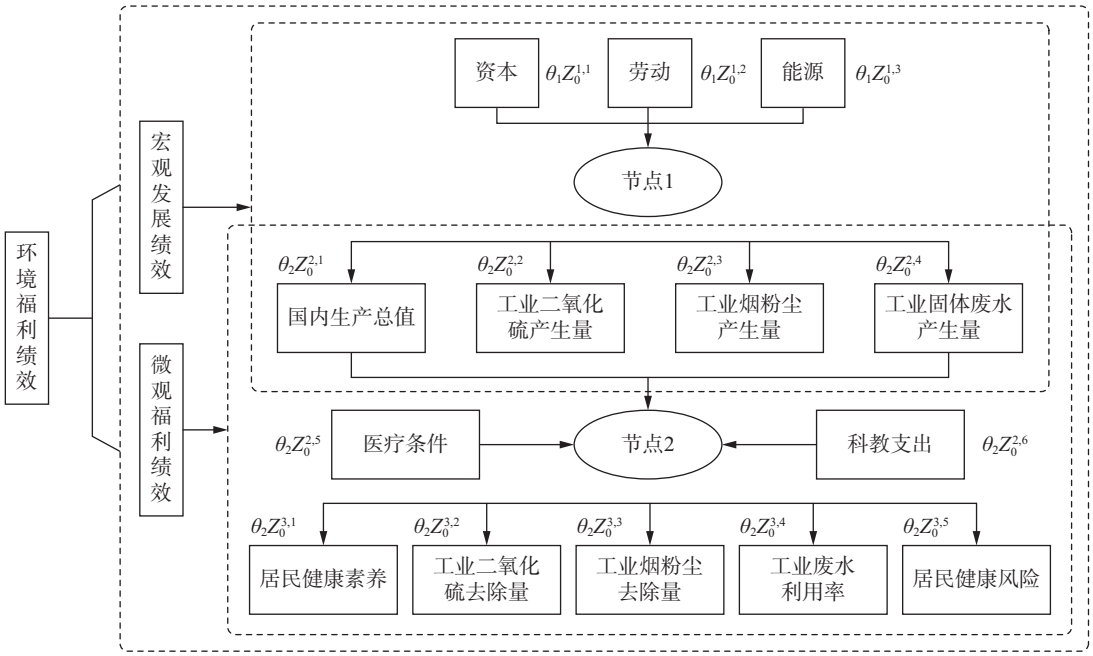

图 2　两阶段网络超效率 SBM 模型框架

对于节点效率值的求解,本文参考 Tone 等[39]运用两阶段网络超效率 SBM 模型进行测算,构建两阶段网络超效率 SBM 模型,为保证篇幅长度,本文列示重要步骤如下:式(2)为求解出的两阶段综合效率值,即环境福利绩效;式(3)为基于两阶段网络超效率 SBM 模型求解的单个节点效率值,ρ_1 与 ρ_2 即求解的第一阶段与第二阶段的节点效率值。参考宋马林与金培振[40]的做法,在测算过程中,假设规模报酬保持不变。

目标函数:

$$\theta^* = \min_{\lambda^k, s^{k-}, s^{k+}} \frac{\sum_{k=1}^{K} w^k \left[1 - \frac{1}{m_k} \left(\sum_{j=1}^{m_k} \frac{s_j^{k-}}{x_j^k} \right) \right]}{\sum_{k=1}^{K} w^k \left[1 + \frac{1}{r_k} \left(\sum_{r=1}^{r_k} \frac{s_r^{k+}}{y_r^k} \right) \right]} \tag{2}$$

其中:$\sum_{k=1}^{k} w^k = 1$,w^k 是除 k 的相对权重;m_k 为投入要素的种类数;r_k 为产出要素的种类数;x_j^k 与 y_j^k 为输入与输出资源,对应本文中的节点 1 与节点 2 的投入产出要素;s^{k-} 与 s^{k+} 为输入输出的松弛矢量。

$$\theta_k = \frac{1 - \frac{1}{m_k} \left(\sum_{j=1}^{m_k} \frac{s_j^{k-}}{x_j^k} \right)}{1 + \frac{1}{r_k} \left(\sum_{r=1}^{r_k} \frac{s_r^{k+}}{y_r^k} \right)}, \ k = 1, 2, \cdots, K \tag{3}$$

式(4)为求解两阶段效率值的约束条件：

$$\begin{cases} x_o^k = X^k \lambda^k + s^{k-}, \ k = 1,2,\cdots,K \\ y_o^k = Y^k \lambda^k - s^{k+}, \ k = 1,2,\cdots,K \\ e\lambda^k = 1, \ k = 1,2,\cdots,K \\ \lambda^k \geqslant 0, \ s^{k-} \geqslant 0, \ s^{k+} \geqslant 0, \ \forall k \end{cases} \tag{4}$$

中间节点可以设置不同类别,并根据设置的不同类别来加入额外约束条件:如设置中间阶段的投入与产出,节点连接条件如式(5)所示。

$$\boldsymbol{Z}^{(k,h)} \lambda^h = \boldsymbol{Z}^{(k,h)} \lambda^k, \forall (k,h) \tag{5}$$

2. 核心解释变量

本文的核心解释变量为 NEDC 试点(*Did*)。$Did_{it} = policy_i \times time_t$:$policy_i$ 为政策虚拟变量,若为 NEDC 则赋值 1,否则赋值 0; $time_t$ 为时间虚拟变量,2014 年及之后为 1,2014 年之前为 0。考虑到第一批试点地区还包括产业园区与区县,本文研究的层面为地级市层面,参考李豫新等[41]的做法,将新能源示范产业园区剔除,同时由于部分城市将区设立为示范城市(如北京昌平区),将该类城市保留在样本数据中,最终得到 NEDC 名单。

3. 控制变量

基于前人的研究并参考相关文献,本文选取如下控制变量:消费水平(*Consume*),社会消费品零售总额占 GDP 的比重;资源禀赋(*Resource*),采掘业从业人员数占总就业人数的比重;市场化程度(*Market*),城镇私营和个体从业人员数占总从业人数的比重;外商直接投资水平(*Fdi*),当年实际使用外资金额占 GDP 的比重;信息化水平(*Information*),地区互联网用户数占总人口的比重;产业结构合理化(*Indstra*),泰尔指数在当前的研究中,泰尔指数被广泛用于衡量产业结构的合理化水平,这个指数通过衡量不同产业的产值与就业之间的差异,以及各产业在经济中的地位差异,有效地反映了生产要素投入与产出结构之间的匹配程度;城镇化水平(*Urban*),城镇常住人口与总常住人口的比值;金融发展程度(*Finance*),年末金融机构贷款余额与 GDP 的比值。

4. 调节变量

基于前文的理论分析,本文选取的自然地理要素为平均海拔(*Averalti*)、平均地形起伏度(*Aver Landrelief*)、日照时数(*Sunduration*)、平均气温(*Avertemp*)、降水量(*Precipitation*)及平均相对湿度(*Averhumi*);选取的社会经济要素为环境规制(*ER*),使用地级市的环境污染治理投资总额来衡量。

5. 机制变量

(1)能源利用效率(*EE*)。本文采用绿色全要素能源效率指标来评估能源利用效率,其中包含了劳动和资本等生产要素,并将地区总产值视为理想的产出结果。本文同时纳入了工业排放的二氧化硫、烟尘和废水这三个不希望产生的结果。使用 SBM-Malmquist-Luenberger 指数进行测算,该方法综合考虑了能源消耗和环境影响,从而更全面地评价了经济活动的可持续性。

(2)新型数字基础设施(*NI*)。本文采用新型数字基础设施作为代理变量。首先,搜集了 2008 至 2022 年各省、自治区、直辖市的政府工作报告,筛选出与新型数字基础设施相关的术语。其次,利用 Python 软件对这些报告进行文本分词,统计了报告中的总词汇量以及与新型数字基础设施相关的词汇量,并得出了相关词汇占比。最后,考虑到地级市的信息行业就业人数与新型数字基础设施建设密切相关,将地级市信息行业就业人数占总人口的比重与新型数字基础设施相关词汇的占比相乘,来调整并衡量各市在新型数字基础设施建设方面的状况。

(三)数据来源与描述性统计

考虑部分地级市的数据缺失较为严重,本文最终采用 2008—2022 年中国 267 个地级市的样本数据。对于仅有个别年份缺失的部分变量,使用插值法进行补齐。除特别说明外,本文所使用的其余数据均来自《中国统计年鉴》及万得数据库。本文主要变量的描述性统计结果见表 1。

表 1　描述性统计

变量	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
EWP	4005	0.465	0.077	0.225	1.027
MDP	4005	0.782	0.084	0.424	1.020
MWP	4005	0.368	0.094	0.255	1.018
Did	4005	0.130	0.337	0.000	1.000
Consume	4005	0.377	0.106	0.000	1.013
Resource	4005	0.049	0.086	0.000	1.000
Market	4005	1.258	0.841	0.014	8.830
Fdi	4005	0.018	0.019	0.000	0.206
Information	4005	0.238	0.207	0.000	3.663
Indstra	4005	0.282	0.213	−0.097	1.720
Urban	4005	0.552	0.160	0.131	1.178
Finance	4005	1.011	0.616	0.112	7.450

四、实证结果分析与讨论

(一)基准回归结果分析

表 2 展示了基准回归结果,在未加入控制变量与加入控制变量情况下,NEDC 对环境福利绩效(*EWP*)的回归结果。观察可知,在加入控制变量后结果仍然显著,NEDC 显著促进了环境福利绩效的提升。从经济意义上进行解读,NEDC 的建设使其环境福利绩效相较于非试点城市提升了 0.022 个单位,同时根据样本城市环境福利绩效的均值测算发现,NEDC 政策实施后相较于实施前,城市环境福利绩效平均提升了约 4.73%,表明 NEDC 建设对环境福利的改善作用是可观的,为相关政策的推广提供了量化支撑。

表 2　基准回归

变量	(1)	(2)
Did	0.020** (0.010)	0.022** (0.009)
常数项	0.423*** (0.003)	0.542*** (0.026)
N	4005	4005
R^2	0.331	0.380
控制变量	否	是
城市/年份固定	是	是

注:括号中为聚类稳健标准误;* 表示 $P<0.1$, ** 表示 $P<0.05$, *** 表示 $P<0.01$。

(二)平行趋势检验与动态效应

在评估 NEDC 政策的净效应时,本文基于一个核心假设:平行趋势假设,即在政策实施前实验组和对照组在环境福利绩效的表现上并无显著差异。为了验证这一假设并评估实施后的影响,本文采用了事件研究方法。具体而言,构建了时间虚拟变量与实验组虚拟变量的交互项,并将其纳入回归模型中。在模型中,交互项的系数揭示了在特定年份内,实验组与对照组之间环境福利绩效的差异。模型如式(6)所示。

$$EWP_{it} = \beta_0 + \sum_{t \geq -6, t \neq -1}^{6} \beta_t policy_i \times year_t + \gamma Control_{it} + v_i + u_t + \varepsilon_{it} \tag{6}$$

其中:*year* 为时间虚拟变量;*policy* 为政策虚拟变量。本文将政策实施前一期作为基期,其他设定与基准模型一致。图 3 展示了模型估计结果,显示政策实施前处理组与对照组在环境福利绩效上无显著差异,满足平行趋势假设。政策实施后,NEDC 对环境福利绩效有显著正向影响。

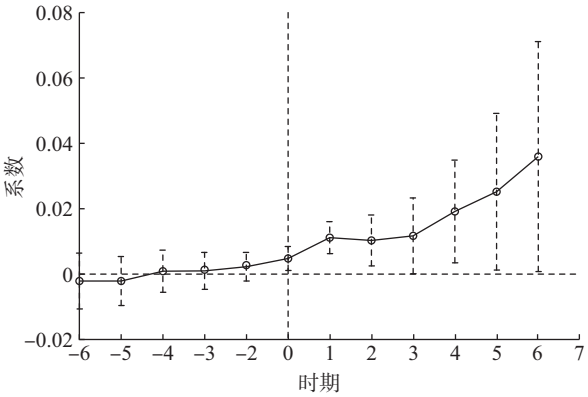

图 3　平行趋势检验与动态效应

(三)稳健性检验

1. 反事实检验

在运用双重差分法时,若实验组与对照组不存在可比性,就有可能导致因果识别出现有偏的结果。因此,本文采用陈强等[42]提出的 didplacebo 命令进行检验,构建虚假时期的政策虚拟变量,但由于命令本身不汇报 R^2,因此本文未进行汇报。具体地,将 NEDC 的试点时间分

表 3　稳健性检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	EWP	*EWP*	*EWP*	*EWP*	*EWP*	*EWP*	*MDP*	*MWP*
Did			0.021** (0.009)		0.021** (0.009)	0.022** (0.009)	0.020** (0.009)	0.019* (0.010)
Did3/*Did5*	0.003 (0.003)	0.040 (0.003)						
LDid				0.022** (0.010)				
Did2					0.008 (0.006)			
Did4						0.021*** (0.006)		
常数项			0.570*** (0.023)	0.560*** (0.029)	0.542*** (0.026)	0.537*** (0.026)	0.858*** (0.022)	0.435*** (0.029)
N	4005	4005	4005	3738	4005	4005	4005	4005
R^2			0.339	0.369	0.381	0.388	0.150	0.423
常数项	是	是	是	是	是	是	是	是
城市/年份固定	是	是	是	是	是	是	是	是

注：括号中为聚类稳健标准误；* 表示 $P<0.1$，** 表示 $P<0.05$，*** 表示 $P<0.01$。

别提前 3 年与 5 年。回归结果见表 3 的(1)列与(2)列，根据回归结果可知，将政策提前 3 年与 5 年，回归系数不显著，这说明 NEDC 政策的实施确实显著提升了环境福利绩效。

2. 替换环境福利绩效的测度指标

前文在测度环境福利绩效时，节点 2 的投入要素为第一阶段的产出、医疗条件与科教支出，考虑到对环境污染的治理也能够提升居民的生活环境状况，因此本文将节点 2 的投入要素由科教支出改为环境污染治理投入额。重新测算后带入回归模型，结果见表 3 的(3)列。可以发现 *Did* 的系数显著为正，说明结论稳健。

3. 滞后核心解释变量

通常而言，提升环境福利绩效是一个涉及经济、环境和社会多个层面的综合过程，并且往往需要较长的时间才能显现出显著效果。因此，本文采用核心解释变量的一期滞后值进行了稳健性测试，结果见表 3 的(4)列。可以发现 *LDid* 系数显著为正，说明结论稳健。

4. 排除其他政策影响

在样本考察期内，还发布了另外一些试点政策，如智慧城市试点(*Did*2)、环境保护重点城市试点(*Did*4)等，这些政策与环境福利绩效较为相关，可能使得估计结果不一致。因此，本文在基准回归中加入这两个政策，结果见表 3 的(5)列与(6)列。结果显示，在排除其他政策干扰后，回归结果仍然正向显著，说明结论稳健。

5. 安慰剂检验

(1)虚构处理组的安慰剂检验。本文为避免偶然事件所带来的影响，借鉴 Ferrara 等[43]的做法进行虚构处理组的安慰剂检验。采用随机抽样的方法构造出虚假实验组和对照组，从而构造出虚假处理变量及其对应的交互项。为提高检验可信度，本文重复操作 500 次，结果如图 4 所示。在 500 次安慰剂检验中，估计系数基本介于−0.02~0.02，集中分布于 0 处，绝大部分估计系数 $P>0.1$，说明结果稳健。

(2)混合虚构的安慰剂检验。为进一步控制城市和年份层面不可观察因素对结果造成的偏差，本文通过随机设定 NEDC 的试点时间和地点进行安慰剂检验。随机赋值 NEDC 的试点时间和地区后进行双向固定的双重差分，记录交互项回归系数并重复 500 次。图 5 中交互项回归系数基本服从均值为 0 的正态分布，且绝大部分估计系数 $P>0.1$，说明结果依然稳健。

6. 子维度回归检验

环境福利绩效包含两方面，分别是宏观发展绩效(*MDP*)与微观福利绩效(*MWP*)。前文已在统计上说明 NEDC 显著促进了环境福利绩效的提升，为加强结果的稳健性，本文对其子维度分别进行回归。从表 3 的(7)列与(8)列可以看出，NEDC 建设有效促进了宏观发展绩效(*MDP*)与微观福利绩效(*MWP*)的提升，进一步说明促进环境福利绩效的提升效应是稳健的。

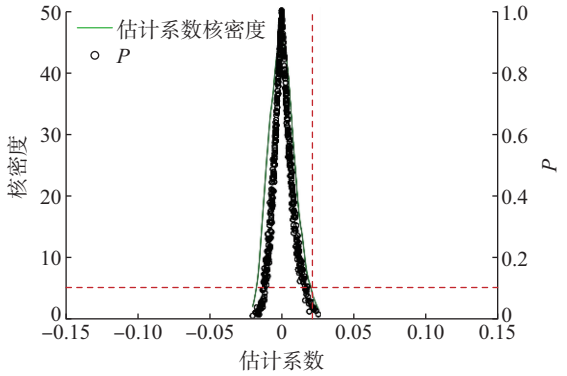

图 4　虚构处理组

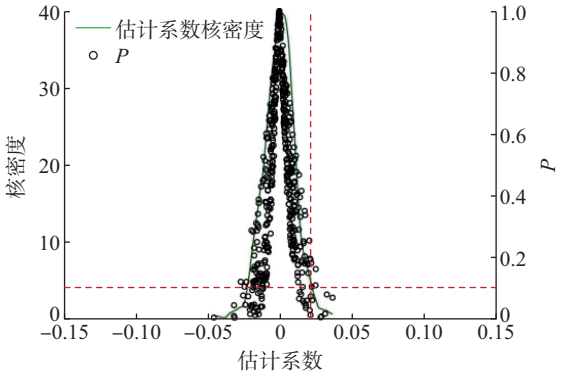

图 5　混合虚构

7. 双重机器学习的因果识别检验

为解决传统模型中可能的遗漏变量偏误和设定偏误，本文引入双重机器学习方法。这使得模型能更准确地估计 NEDC 政策对环境福利绩效的影响，避免了因控制变量选择不当或线性假设不成立而导致的估计偏误问题。具体模型构建如式(7)和式(8)所示。

$$EWP_{it+1} = g(Did_{it}, Control_{it}) + U_{it} \tag{7}$$

$$Did_{it} = m(Control_{it}) + V_{it} \tag{8}$$

其中：$g(\cdot)$为 *Did*、*Control* 二者的函数，由它们共同解释；$m(\cdot)$为 *Control* 的函数，反映数据自身特征；U、V 分别为相应的误差项。模型中的目标参数，即平均处理效应(ATE)的估计系数为

$$\widehat{\beta}_1 = E[g(Did_{it} = 1, Control_{it}) - g(Did_{it} = 0, Control_{it})] \tag{9}$$

本文将模型中样本分割比例设定为 1:4，同时在控制城市、年份固定效应的基础上，逐步加入控制变量的一次项、二次项、三次项，并采用随机森林算法进行预测求解。进一步地，为保证估计结果的准确性，还通过调整样本分割比例(设定为 1:7)进行了稳健性检验，详细结果见表 4。表 4 的(1)列~(3)列显示，NEDC 政策(*Did*)的估计系数均在统计上高度显著。在改变样本分割比例后，(4)列~(6)列 *Did* 估计系数也均在 1%水平上显著。

表 4　双重机器学习估计结果

变量	随机森林算法			调整样本分割比		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Did	0.009*** (0.001)	0.008*** (0.001)	0.009*** (0.001)	0.009*** (0.002)	0.009*** (0.002)	0.008*** (0.001)
控制变量集合一次项	是	是	是	是	是	是
控制变量集合二次项	否	是	是	否	是	是
控制变量集合三次项	否	否	是	否	否	是
城市/年份固定效应	是	是	是	是	是	是
样本量	4005	4005	4005	4005	4005	4005

注：括号中为聚类稳健标准误；* 表示 $P<0.1$，** 表示 $P<0.05$，*** 表示 $P<0.01$。

(四)内生性检验

本文参考李福柱和张欣然[44]的做法，选取年末城市道路面积的自然对数与政策实施时间虚拟变量的交互项作为工具变量。一方面，交通基础设施能显著拉动区域经济增长，政府设立 NEDC 时，更倾向选择经济水平高且政策落地性强的区域，经济实力强的政府也更易推进政策、提升成效，满足相关性假设。另一方面，年末城市道路面积为稳定存量指标，与经济活动要素比较，其与环境福利绩效无直接关联，满足外生性要求。从表 5 的(1)列与(2)列可以看出，第一阶段的估计系数显著，工具变量满足相关性条件；第二阶段估计结果在 1%水平上显著，且 Kleibergen-Paap rk LM 统计量、Kleibergen-Paap rk Wald *F* 统计量、Hansen 统计量也均通过了工具变量识别不足、弱识别与过度识别问题，说明工具变量选取合理。

（五）异质性分析

1. 地理区位异质性

本文首先考虑城市所处的地理区位特征进行异质性分析，结果见表6。（1）列展示了区域异质性，只有东部地区的 NEDC 对环境福利绩效的影响系数显著为正。这可能与东部地区经济发展程度高，市场机制完善，能源交易与能源转型进程加快推进相关；对于其他地区而言，可能受限于地理区位及经济条件而呈现不显著。（2）列展示了南北方异质性，可以发现南方的估计系数显著为正，北方的不显著。在北方区域，经济结构倾向于依赖传统的投资驱动模式，这种模式可能导致内生增长动力的缺失，会阻碍环境政策在促进绿色转型方面的积极作用。这种状况增加了环境政策对可持续经济发展影响的不稳定性，从而导致结果不显著。（3）列展示了“胡焕庸线”两侧异质性，在线以南回归显著，而在线以北地区也显著。发现与前文分析预期的不一致，本文尝试从“地理约束”与“资源禀赋”的对冲效应进行解读：“胡焕庸线”西北侧虽受干旱、高寒等地理气候条件限制，却拥有全国最丰富的风能、太阳能资源，而国家在布局新能源试点时，又优先选择了这类资源富集的城市，配套专项补贴与电网接入支持，使其能通过大规模建设风电、光伏基地快速推动能源结构转型，同时该区域作为重要生态屏障，政策带来的清洁能源替代缓解了草原退化、土地沙化等生态问题，资源驱动与生态修复的双重作用最终突破了地理条件的限制，改善了居民福祉，使政策对环境福利绩效的影响显著为正；而线以南尽管风光资源禀赋较弱，但凭借技术密集、产业集聚与电网消纳能力强的优势，通过产业绿色转型同样实现了环境福利绩效的提升。线两侧地区反映出“资源驱动”与“技术驱动”政策不仅促进了城市绿色经济的发展，还呈现出两种模式在政策效应上的差异化表现。

表 5　内生性检验

变量	（1）	（2）
IV	0.064*** （0.007）	
Did		0.416*** （0.055）
控制变量	是	是
城市/年份固定	是	是
N	4005	4005
R^2	0.239	−2.687
Kleibergen-Paap rk LM	91.835［0.000］	
Kleibergen-Paap rk Wald *F*	85.185	

注：括号内为聚类稳健标准误；中括号内为显著性 *P* 值；* 表示 $P<0.1$，** 表示 $P<0.05$，*** 表示 $P<0.01$。

表 6　地理区位异质性

变量	（1）				（2）		（3）	
	东部	中部	西部	东北	北方	南方	线以南	线以北
Did	0.049** （0.020）	0.006 （0.009）	0.015 （0.010）	−0.001 （0.006）	0.017 （0.012）	0.026* （0.014）	0.021** （0.010）	0.023** （0.010）
常数项	0.612*** （0.059）	0.437*** （0.023）	0.522*** （0.033）	0.448*** （0.014）	0.499*** （0.030）	0.575*** （0.047）	0.536*** （0.027）	0.679*** （0.076）
N	1275	1140	1095	495	1815	2190	3690	315
R^2	0.500	0.464	0.436	0.447	0.338	0.440	0.865	0.425
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
城市/年份固定	是	是	是	是	是	是	是	是

注：括号中为聚类稳健标准误；* 表示 $P<0.1$，** 表示 $P<0.05$，*** 表示 $P<0.01$。

2. 城市特征异质性

本文根据城市特征作进一步分析，具体见表7。（1）列展示了根据城市人口划分的城市类别，可以发现，在超大型城市，NEDC 政策显著促进了环境福利绩效的提升，这是因为超大型城市拥有更完善的基础设施和更强大的政策执行力，具有更强的科技创新能力和更高的环保意识，这有助于推动新能源技术的应用和环境规制的执行。特大城市可能因为城市快速发展带来的环境压力和资源紧张，使得新能源政策的实施效果并不如预期。大城市和中小型城市可能因为资源分配、政策执行力度、技术能力和环保意识等方面的限制，使得 NEDC 对环境福利绩效的影响不够明显。（2）列展示了根据功能定位和区域影响力的城市划分，可以发现，中心城市由于其政策执行力和资源集聚能力，能够更有效地推动 NEDC 建设，从而对环境福利绩效产生正向显著影响；外围城市可能由于地理位置、经济发展水平和资源禀赋等因素的限制，难以产生与中心城市相同的环境福利绩效提升效果，表现不显著。

为进一步探究碳交易平台建设的城市在 NEDC 提升环境福利绩效的过程中是否表现出异质性,本文选用三重差分方法进行研究。将具有碳交易平台建设(TJY_{it})的城市赋值为 1,不具有的赋值为 0。模型构建如式(10)所示。

$$EWP_{it} = \beta_0 + \beta_1 treat_i \times time_t \times TJY_{it} + \beta_2 treat_i \times time_t + \beta_3 treat_i \times TJY_{it} + \beta_4 time_t \times TJY_{it} + Control_{it} + v_i + u_t + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

其余变量与基准回归模型保持一致,三重差分估计结果见表 7 的(3)列。观察可以发现,DDD 的估计系数显著为正,说明在具有碳交易平台的城市,能够更加显著地提升 NEDC 政策对环境福利绩效的促进作用。

表 7　城市特征异质性

变量	(1)				(2)		(3)
	超大型城市	特大城市	大城市	中小型城市	中心城市	外围城市	碳交易试点
Did	0.096* (0.042)	−0.057** (0.020)	0.020 (0.013)	0.013 (0.008)	0.016** (0.007)	0.016 (0.030)	0.012 (0.007)
DDD							0.099** (0.044)
常数项	1.619*** (0.311)	0.552*** (0.078)	0.558*** (0.041)	0.466*** (0.016)	0.491*** (0.016)	0.698*** (0.119)	0.528*** (0.022)
N	105	210	1170	2520	3495	510	4005
R^2	0.938	0.795	0.500	0.333	0.370	0.688	0.398
控制变量	是	是	是	是	是	是	是
城市固定	是	是	是	是	是	是	是
年份固定	是	是	是	是	是	是	是

注:括号中为聚类稳健标准误;* 表示 $P<0.1$, ** 表示 $P<0.05$, *** 表示 $P<0.01$。

(六)调节效应检验

本文依据前文假说,对自然地理要素与经济社会要素的调节效应进行检验,表 8 展示了调节效应的估计结果。表 8 的(1)列展示了环境规制的交乘项显著为正,表明环境规制能够在 NEDC 促进环境福利绩效的过程中产生积极的促进作用。这可能是因为环境规制能够通过减轻融资约束和提高管理水平来刺激企业的可再生能源创新,推动产业结构的优化,减少高污染、高耗能的产业比重,增加清洁能源和低碳产业的比重。(2)列展示了平均气温在 NEDC 促进环境福利绩效的过程中发挥正向调节作用。(3)列、(4)列、(5)列、(7)列展示了平均气温、平均湿度、日照时数、降水量、平均地形起伏度的调节效应,他们在统计上不显著,未发挥出预期的调节效应。(6)列展示了平均海拔的交乘项显著为负,表明平均海拔越高,越不利于 NEDC 促进环境福利绩效的提升。这是因为在高海拔地区,能源消耗和碳排放量大于低海拔地区,同时也会对能源系统的生产造成负面影响。

表 8　调节效应检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	EWP	*EWP*	*EWP*	*EWP*	*EWP*	*EWP*	*EWP*
DID	0.016** (0.008)	0.022** (0.009)	0.022** (0.009)	0.021** (0.009)	0.023** (0.009)	0.023** (0.009)	0.022** (0.009)
DID×ER	0.027** (0.013)						
DID×Avertemp		0.004* (0.002)					
DID×Averhumi			0.0001 (0.001)				
DID×Sunduration				−0.0003 (0.009)			

续表

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	EWP	*EWP*	*EWP*	*EWP*	*EWP*	*EWP*	*EWP*
DID×Precipitation					6.083 (4.976)		
DID×Averalti						−0.012 ** (0.005)	
DID×AverLandrelief							0.001 (0.005)
常数项	0.600 *** (0.028)	0.525 *** (0.046)	0.517 *** (0.046)	0.606 *** (0.036)	0.547 *** (0.026)	0.540 *** (0.026)	0.541 *** (0.026)
N	4005	4005	4005	4005	4005	3990	3990
R^2	0.399	0.385	0.381	0.386	0.382	0.385	0.379
常数项	是	是	是	是	是	是	是
城市/年份固定	是	是	是	是	是	是	是

注：括号中为聚类稳健标准误；* 表示 $P<0.1$，** 表示 $P<0.05$，*** 表示 $P<0.01$。

（七）机制检验

本文根据理论部分的分析，从能源利用效率（*EE*）、新型基础设施（*NI*）两个途径进行实证检验，研究NEDC对环境福利绩效的影响机制。表9展示了机制检验结果。表9的（1）列与（3）列展示了不加控制变量进行回归的结果，表9的（2）列与（4）列展示了加入控制变量回归的结果。观察可以发现，NEDC通过完善能源结构、推动能源转型、提升了绿色全要素能源效率，从而提升了环境福利绩效。同时，NEDC的发展也带动了新型基础设施建设与完善，从而推动了环境福利绩效的提升。

表9　机制检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	NI	NI	EE	EE
Did	1.779 * (1.077)	1.755 * (1.031)	0.028 *** (0.006)	0.029 ** (0.013)
常数项	2.586 *** (0.246)	5.286 *** (1.778)	0.271 *** (0.005)	0.349 *** (0.037)
N	3945	3945	4005	4005
R^2	0.606	0.609	0.168	0.198
控制变量	否	是	否	是
城市/年份固定	是	是	是	是

注：括号中为聚类稳健标准误；* 表示 $P<0.1$，** 表示 $P<0.05$，*** 表示 $P<0.01$。

五、进一步分析：空间效应估计

考虑到NEDC与环境福利绩效间可能存在的空间相关性，本文进一步研究NEDC的空间溢出效应。首先使用莫兰指数进行检验，结果显示存在空间正相关性。在分析过程中，发现空间自回归（SAR）和空间误差（SEM）模型的拉格朗日乘数（LM）测试及稳健的LM测试均在5%的水平上显著，这表明空间滞后和空间误差效应都存在。因此，选择使用空间杜宾模型（SDM）来进一步分析。此外，还对SDM进行了似然比（LR）测试和沃尔德（Wald）测试，以确定它是否能够简化为SAR或SEM。测试结果表明，LR和Wald统计量均显著地拒绝了原假设，意味着在固定效应的条件下，SDM比SAR和SEM更适合用于本文。因此，决定采用空间杜宾双重差分模型（SDM-DID）来评估NEDC政策的空间溢出效应。模型设定如式（11）所示。

$$EWP_{it} = \partial_0 + \partial_1 \sum_{i \neq j}^{N} W_{ij} EWP_{jt} + \partial_2 Did_{it} + \partial_3 \sum_{i \neq j}^{N} W_{ij} Did_{jt} + \partial_4 Control_{it} + \partial_5 \sum_{i \neq j}^{N} W_{ij} Control_{jt} + u_i + \sigma_t + \varepsilon_{it} \quad (11)$$

其中：W_{ij} 包括经济地理嵌套矩阵与经济距离矩阵；∂_i 为各项的系数。本文使用空间计量模型的估计结果见表10。

表 10　空间效应估计

变量	(1)经济地理嵌套矩阵			(2)经济距离矩阵		
	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应
Did	0.026*** (0.003)	0.149*** (0.028)	0.176*** (0.029)	0.027*** (0.003)	0.134*** (0.025)	0.160*** (0.026)
rho		0.795*** (0.014)			0.742*** (0.016)	
N	4005	4005	4005	4005	4005	4005
R^2		0.248			0.264	
控制变量	是	是	是	是	是	是
城市/年份固定	是	是	是	是	是	是

注:括号中为聚类稳健标准误;* 表示 $P<0.1$, ** 表示 $P<0.05$, *** 表示 $P<0.01$;*rho* 为空间自相关系数。

观察可以发现,无论是经济地理嵌套矩阵还是经济距离矩阵,NEDC 政策对环境福利绩效提升的直接效应、间接效应与总效应均在 1%的水平上显著为正,表明 NEDC 政策对自身和邻近地区的环境福利绩效均具有显著的促进作用。NEDC 政策对环境福利绩效的影响是全面且深远的。政策的实施不仅直接改善了实施城市的环境保护和资源利用效率,而且通过空间关联效应,对周边城市的环境福利绩效产生了积极的外部性。这些发现强调了在制定和实施新能源相关政策时,需要考虑到其对整个区域乃至更广泛空间内环境福利绩效的影响。

六、研究结论与政策建议

本文基于 2008—2022 年中国 267 个地级市的面板数据,利用两阶段网络超效率 SBM 方法测度了环境福利绩效,并使用双重差分模型探究了 NEDC 政策对环境福利绩效的影响。得出以下结论:①NEDC 政策显著提升了环境福利绩效,也提升了宏观发展绩效与微观福利绩效。在进行一系列稳健性检验之后结论依然成立。②在地理区位上,NEDC 政策对东部地区、南方地区、“胡焕庸”线以南地区的环境福利绩效促进作用更加显著;在城市特征上,对超大型城市、中心城市及具有碳交易平台的城市促进作用更加显著,对特大城市反而大有抑制作用。③环境规制,平均气温在 NEDC 政策促进环境福利绩效的过程中发挥正向调节作用,平均海拔发挥负向调节作用。④NEDC 政策通过提高能源利用效率与完善新型基础设施建设来促进环境福利绩效的提升。⑤NEDC 政策具有显著的空间溢出效应,能够推动本地与周边地区的环境福利绩效发展。基于以上研究结论,本文提出以下政策建议。

第一,加强区域协调发展,缩小地区差距,实施差异化城市发展策略,优化政策效果。在政策支持层面:增加对中西部和北方地区的财政转移支付,提供更多的政策支持和资金投入,促进这些地区的新能源基础设施建设和技术创新。在资源配置层面:优化资源配置,鼓励东部和南方地区的先进技术和成功经验向中西部和北方地区扩散,推动区域协调发展。对于超大型城市和中心城市,进一步强化政策支持,推动新能源技术的研发和应用,提升环境福利绩效。对于特大城市,深入研究特大城市在政策实施中的具体问题,调整政策措施,解决发展与环境之间的矛盾,确保政策效果的最大化。对于碳交易平台城市,加大对碳交易平台的支持力度,完善碳交易机制,促进绿色低碳发展,从而更好地发挥 NEDC 政策对环境福利绩效的提升作用。

第二,优化环境规制与气候适应政策,提高政策有效性。环境规制在 NEDC 政策中发挥正向调节作用,而平均海拔发挥负向调节作用。因此,在环境规制层面,要加大环境规制的执行力度,完善相关法律法规,确保环境规制在提升环境福利绩效方面的积极作用。在气候适应层面:制定和实施气候适应政策,特别是在海拔较高的地区,提高这些地区对气候变化的适应能力,减少负面影响。在技术创新层面,要鼓励技术创新,开发适应不同气候条件的新能源技术,提高政策的适应性和有效性。

第三,建立促进能源效率提升和基础设施建设的长效机制,促进能源可持续发展。NEDC 政策通过提高能源利用效率和完善新型基础设施建设来促进环境福利绩效的提升。因此,要加大对新能源技术的研发和推广力度,提高能源利用效率,减少能源消耗和环境污染。同时,加大对新型基础设施的投资,包括智能电网、绿色交通系统等,提升基础设施的现代化水平,支持新能源的广泛应用。还应该加强公众环保意识教

育，鼓励公众参与新能源项目建设，形成全社会共同推动绿色发展的良好氛围。

第四，强化政策的空间溢出效应，打造区域协调发展的交流平台。NEDC 政策具有显著的空间溢出效应，能够推动本地与周边地区的环境福利绩效发展。地方政府可以建立区域合作机制，加强区域间的政策协调和资源共享，促进区域协调发展。同时，推广成功的政策经验和技术成果，带动周边地区共同提升环境福利绩效。对于地方政府而言，要加强政策联动，制定跨区域的综合性政策，形成政策合力，最大化发挥政策的空间溢出效应。

参考文献

[1] 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(3)：586-604.

[2] 杨宇，郭越，樊杰，等. 能源地理研究的发展与展望[J]. 地理学报，2024，79(1)：147-170.

[3] 林育妙，程秋旺，许安心. 新能源示范城市建设的碳减排效应研究[J]. 调研世界，2024(1)：26-36.

[4] 王晨圣，杨乐. 新能源示范城市建设对资源型城市能源效率的提升作用研究[J]. 地域研究与开发，2025，44(4)：74-82.

[5] 周安华，王赛鸽. 中国新能源示范城市政策对新能源企业绿色创新的影响及其作用机制[J]. 资源科学，2023，45(12)：2463-2479.

[6] 王俊豪，谢倩莹，史丹. 绿色技术创新对能源效率的影响研究[J]. 财贸经济，2024，45(6)：143-159.

[7] 王玉晖，敬莉. 新能源示范城市政策如何提高城市碳排放效率？[J]. 煤炭经济研究，2025，45(7)：70-78.

[8] COSTA D L，KAHN M E. Civic engagement and community heterogeneity：An economist's perspective[J]. Perspectives on Politics，2003，1(1)：103-111.

[9] SEN A. Choice，welfare and measurement[M]. Boston：Harvard University Press，1997.

[10] 张天尧，张衔春，洪世键，等. 健康维度下可持续性研究框架解读与重构[J]. 地域研究与开发，2017，36(4)：1-6.

[11] RASHEED M Q，YUHUAN Z，HASEEB A，et al. Asymmetric relationship between competitive industrial performance，renewable energy，industrialization，and carbon footprint：Does artificial intelligence matter for environmental sustainability？[J]. Applied Energy，2024，367：123346.

[12] SILVESTRI L，DE SANTIS M. Renewable-based load shifting system for demand response to enhance energy-economic-environmental performance of industrial enterprises[J]. Applied Energy，2024，358：122562.

[13] LIN B，XU C. Enhancing energy-environmental performance through industrial intelligence：Insights from Chinese prefectural-level cities[J]. Applied Energy，2024，365：123245.

[14] 范玉莹，陈东景，郑浩天. 新能源示范城市建设对工业企业绿色转型的影响及机制[J]. 资源科学，2024，46(9)：1685-1698.

[15] XU C. Towards balanced low-carbon development：Driver and complex network of urban-rural energy-carbon performance gap in China[J]. Applied Energy，2023，333：120663.

[16] XU Z，LI Y，WANG C，et al. Social capital and environmentally friendly behaviors[J]. Environmental Science & Policy，2024，151：103612.

[17] 文博，徐聪，孟霖，等. 苏南地区生态用地破碎度时空演变及其对建设用地扩张的响应——基于环境库兹涅茨曲线视角[J]. 资源科学，2023，45(8)：1676-1691.

[18] 范静波，赵睿. 环境规制与重污染企业绿色创新效率——中国式“波特假说”的再检验[J]. 中国科技论坛，2025(1)：88-98.

[19] 郇庆治，李思齐. 习近平绿色发展理论的多维意涵与时代拓展[J]. 江西师范大学学报(哲学社会科学版)，2022，55(2)：3-9.

[20] 王增文. 中国经济发展中的技术扩散、技术创新与社会保障“双引擎”驱动策略[J]. 社会科学研究，2016(3)：33-39.

[21] 崔立志，孙旺，李向前. 新能源示范城市建设的环境效应研究[J]. 华东经济管理，2022，36(2)：57-65.

[22] MEHTA K，EHRENWIRTH M，ZÖRNER W，et al. Need of energy transition at roof of the world：Correlative approach to interpret energy identity of high-altitude Central Asian communities[J]. Energy for Sustainable Development，2023，76：101271.

[23] COLELLI F P，EMMERLING J，MARANGONI G，et al. Increased energy use for adaptation significantly impacts mitigation pathways[J]. Nature Communications，2022，13(1)：4964.

[24] HASSAN Q，ALGBURI S，SAMEEN A Z，et al. A review of hybrid renewable energy systems：Solar and wind-powered solutions：Challenges，opportunities，and policy implications[J]. Results in Engineering，2023，20：101621.

[25] GHANGHERMEH A，ROSHAN G，HALABIAN A. Projecting spatiotemporal variations of sunshine duration with regards to climate change in Iran as a step towards clean energy[J]. Sustainable Energy Technologies and Assessments，2022，53：102630.

[26] OOSTERHAVEN J，RIETVELD P. Transport costs，location and the economy[C]//Location and Competition. London：Routledge，2005：32-59.

[27] 邓忠奇，高廷帆，朱峰. 地区差距与供给侧结构性改革——“三期叠加”下的内生增长[J]. 经济研究，2020，55(10)：22-37.

[28] TAN J，HU X，HASSINK R，et al. Industrial structure or agency：What affects regional economic resilience？Evidence from resource-based cities in China[J]. Cities，2020，106：102906.

[29] 董艳，王昀，孙款款，等. “碳排放权交易”的治理效果与减排机制研究[J]. 科研管理，2024，45(10)：160-171.

[30] ZHAO X，MAHENDRU M，MA X，et al. Impacts of environmental regulations on green economic growth in China：New guidelines regarding renewable energy and energy efficiency[J]. Renewable Energy，2022，187：728-742.

[31] YANG D, TAN L, WU Q, et al. The impact of environmental regulation on renewable energy development in China from the perspective of spatial effects[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2024, 31(7): 10234-10249.
[32] 孙一平, 刘泽杰, 刘益冰, 等. 新能源示范城市建设对绿色全要素生产率的影响研究[J]. 宏观经济研究, 2022(11): 134-146.
[33] WANG L, CHEN L, LI Y. Digital economy and urban low-carbon sustainable development: The role of innovation factor mobility in China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2022, 29(32): 48539-48557.
[34] LIN Z. Can digital transformation curtail carbon emissions? Evidence from a quasi-natural experiment[J]. Humanities and Social Sciences Communications, 2024, 11(1): 1-12.
[35] YANG S, ZHAO G, LI F. The efficiency evaluation of DEA model incorporating improved possibility theory[J]. Mathematics, 2024, 12(19): 3116.
[36] KAO C. Efficiency decomposition in network data envelopment analysis: A relational model[J]. European Journal of Operational Research, 2009, 192(3): 949-962.
[37] SONG M, WANG S, LIU W. A two-stage DEA approach for environmental efficiency measurement[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2014, 186: 3041-3051.
[38] 邵帅, 葛力铭, 朱佳玲. 人与自然何以和谐共生: 地理要素视角下的环境规制与环境福利绩效[J]. 管理世界, 2024, 40(8): 119-146.
[39] TONE K, TSUTSUI M. Network DEA: A slacks-based measure approach[J]. European Journal of Operational Research, 2009, 197(1): 243-252.
[40] 宋马林, 金培振. 地方保护、资源错配与环境福利绩效[J]. 经济研究, 2016, 51(12): 47-61.
[41] 李豫新, 程洪飞, 倪超军. 能源转型政策与城市绿色创新活力——基于新能源示范城市政策的准自然实验[J]. 中国人口·资源与环境, 2023, 33(1): 137-149.
[42] 陈强, 齐霁, 颜冠鹏. 双重差分法的安慰剂检验: 一个实践的指南[J]. 管理世界, 2025, 41(2): 181-220.
[43] FERRARA E L, CHONG A, DURYEA S. Soap operas and fertility: Evidence from Brazil[J]. American Economic Journal: Applied Economics, 2012, 4(4): 1-31.
[44] 李福柱, 张欣然. 中国新能源示范城市的绿色低碳发展效应[J]. 资源科学, 2023, 45(8): 1590-1603.

New Energy Demonstration City and Environmental Welfare Performance: Based on the Dual Perspective of Natural Geographic and Socio-Economic Elements

Zhou Decai[1], Dai Haoyu[2], Huang Kai[1]
(1. School of Economics and Management, Nanchang University, Nanchang 330031, China;
2. School of Economics and Management, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The New Energy Demonstration City (NEDC) policy is a crucial measure to promote energy transition and achieve the "dual carbon" goals. A systematic assessment of its impact on environmental welfare performance is essential for advancing sustainable energy development and enhancing residents' well-being. Economic development, environmental pollution, and residents' health factors were simultaneously incorporated into the measurement of environmental welfare performance. A two-stage network super-efficiency SBM model was applied to calculate this indicator, and the impact of the NEDC policy on environmental welfare performance is evaluated. The findings are as follows. First, the NEDC policy significantly improves environmental welfare performance, and this conclusion remains valid after a series of robustness tests. Second, environmental regulation and average temperature play positive moderating roles in the impact of the NEDC policy on environmental welfare performance, while average altitude exerts a negative moderating effect. The NEDC policy promotes the improvement of environmental welfare performance by enhancing energy utilization efficiency and new infrastructure construction. Third, in terms of geographical location, the impact of the NEDC policy on environmental welfare performance is more significant in eastern and southern China, and is significant in regions on both sides of the "Hu Huanyong Line". In terms of urban characteristics, the promotion effect is more pronounced in megacities, central cities, and cities with carbon trading platforms, while it has an inhibitory effect in large megacities. Fourth, the impact of the NEDC policy on environmental welfare performance has a positive spatial spillover effect. It provides policy implications for the government to optimize energy development and improve residents' well-being.

Keywords: new energy demonstration city; environmental welfare performance; two-stage network super-efficiency SBM; natural geographic elements; socio-economic elements; dual machine learning