

# 绿色创新对城市绿色经济效率的影响——基于资源型 城市视角

张家昀<sup>1</sup>

## 摘要

本文基于 2009-2022 年中国 113 个资源型城市面板数据，实证检验了绿色创新对绿色经济效率的影响以及对外开放水平、教育支出水平的中介效应。结果表明：（1）在资源型城市中，绿色创新可以显著提升绿色经济效率；（2）对外开放水平与教育支出水平在绿色创新与绿色经济效率之间起到了显著的中介作用；（3）对城市类别进行异质性分层分析后发现，绿色创新的提升效应在中小城市及东部地区更容易体现出来。建议对资源型城市提供绿色创新专项补助，优化对外开放政策与教育支出，并制定差异化的政策以促进绿色经济的持续发展。

**关键词：**绿色创新；绿色经济效率；资源型城市

## 1 绪论

当今时代下经济与科技都在飞速前进与发展，气候、生态、可持续发展成为越来越重要的议题。经济与自然生态的共生，经济与绿色自然共同的发展也是未来必然需要选择的一条发展道路。在这样的背景下，城市绿色经济效率的提高也成为学术界的关注焦点。城市作为社会和经济活动的重要载体，在绿色转型上更需要可持续性，同时可持续性在推动经济增长与提升发展质量方面同样不可或缺。

资源型城市往往以资源的加工与开采为经济的重要支柱部分，经济长期依赖自然资源的消耗推动增长。当前经济转型加速推进，资源型城市的转型压力更为集中且更具长期性。由此可见，资源型城市推进绿色化转型，是保障经济长期稳健发展的必然方向（Hou & Shi, 2024）。绿色创新作为推动绿色经济增长的重要因素，通过技术创新、节能减排、促进资源高效利用等形式减少环境负担，促进城市的绿色经济效率（Liao, 2025）。

绿色经济效率的提升，不仅有利于环境保护和节约能源，还可以促进资源型城市的经济可持续发展（Si 等, 2024）。在这个过程中，绿色创新往往起到关键性作用，它能够帮助资源型城市的产业结构优化升级，推动传统产业从依赖自然资源向绿色、低碳、高效的方向转型（Sun, 2024）。因此，探讨绿色创新对资源型城市绿色经济效率的影响具有关键的理论意义与实际价值。

## 2 理论背景与研究假设

<sup>1</sup> 作者信息：张家昀，澳门科技大学博士生，绿色经济， 398797524@qq.com

绿色创新对于资源型城市的绿色经济效率起着关键性作用。绿色创新可以通过改变产业结构、促进工业集聚效应的方式促进城市转型 (Zhao 等, 2025)。绿色创新还能够显著提升资源利用效率, 对于资源型城市来说, 资源利用率的提高对城市经济具有重要促进作用 (Lin & Zhou, 2025)。绿色创新不仅有助于降低碳排放, 还在资源的再利用和循环利用中起到了积极作用, 对城市绿色经济增长形成良性循环 (Alnafrah, 2025)。基于以上讨论, 本文提出假设 H1:

H1: 在资源型城市视角下, 绿色技术创新促进了绿色经济效率的增长。

绿色技术创新往往伴随着对外开放的增加, 通过与国际市场和科技合作, 资源型城市能够引入先进的绿色技术、管理经验和资本, 这有助于推动绿色经济的发展 (Ahmad & Jabeen, 2024)。因此, 绿色创新可以通过提高对外开放的形式促进资源型城市的绿色经济效率 (Hamid & Wang, 2024)。教育支出是推动人力资本发展的重要因素。高质量的教育体系能够为绿色创新提供更多的专业人才和创新力量, 尤其是在技术研发和应用方面 (Liao, 2025)。对于资源型城市来说, 提升教育水平不仅有助于技术创新的实现, 还有助于推动绿色经济效率的提升 (Zhu 等, 2022)。由此提出本文的另外两个假设:

H2: 在资源型城市视角下, 对外开放水平在绿色创新与绿色经济效率之间的作用路径中起到了关键的中介作用。

H3: 在资源型城市视角下, 教育支出水平在绿色创新与绿色经济效率之间的作用路径中起到了关键的中介作用。

### 3 研究方法

#### 3.1 数据来源

本文选取 2009-2022 年中国 113 个资源型城市数据, 具体城市划分依据《全国资源型城市可持续发展规划 (2013-2020 年)》划分出目标城市。数据来源于《中国城市统计年鉴》、《中国科技统计年鉴》。部分缺失资料根据相关城市的国民经济和社会发展统计公报等进行补充, 对于个别缺失资料则采用趋势预测或前后两年的均值进行补充。

#### 3.2 模型设定

为检验绿色创新对资源型城市绿色经济效率的影响, 本文构建基准模型如下:

$$GTFP_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 GTI_{it} + \sum \alpha_n X_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it}$$

式 (1) 中, 被解释变量  $GTFP_{it}$  为  $t$  时期  $i$  市的绿色经济效率,  $GTI_{it}$  为绿色创新,  $X_{it}$  为控制变量。  $\mu_i$  和  $\gamma_t$  分别表示个体固定效应和时间固定效应,  $\varepsilon_{it}$  为随机误差项。

为验证对外开放水平与教育支出水平的中介效应, 构建中介效应模型如下:

$$Mit = \beta_0 + \beta_1 GTI_{it} + \sum \beta_n X_{it} + \mu_i + \gamma_t + \zeta_{it}$$

$$GTFP_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 GTI_{it} + \gamma_2 Mit + \sum \gamma_n X_{it} + \mu_i + \gamma_t + \eta_{it}$$

其中：M 代表中介变量对外开放水平（FDI）与教育支出水平（EEL）。

### 3.3 变量指标说明

被解释变量：绿色经济效率（GTFP）参考方杏村等（2019）的方法，使用超效率 SBM 模型对绿色经济效率指标进行测度。本文指标体系分为投入、期望产出与非期望产出三部分。在投入指标方面，包含四类要素：一是实物资本投入，以固定资产投资总额（万元）衡量；二是劳动资本投入，以从业人员数（万人）衡量；三是能源投入，分别采用全社会用电量（万千瓦时）和全社会用水量（万立方米）；四是财政投入，以科学支出（万元）和教育支出（万元）衡量。在期望产出方面，以经济总量为代表，采用实际 GDP（万元）作为衡量指标。在非期望产出方面，主要从环境污染角度，选取工业废水排放量（万吨）、工业二氧化硫排放量（万吨）以及工业烟粉尘排放量（万吨）作为指标。

解释变量：绿色创新（GTI）参考邹伟勇等（2025）的方法，选取人均绿色专利申请数量衡量城市绿色创新水平。

中介变量：对外开放水平（FDI）采用实际利用外资额与地区生产总值之比衡量；教育支出水平（EEL）采用教育支出与政府财政一般支出之比衡量。

控制变量：参考王韧等（2024）、许永洪等（2025）、冯锐（2022）的方法，采用以下控制变量：财政分权度（FDEC）采用政府财政一般收入与政府财政一般支出的比值衡量；人力资本水平（HC）采用普通高等学校在校学生数与年末总人口之比衡量；城市化水平（UR）采用当地非农业人口与当地户籍全部人口之比衡量；人口密度（DEN）采用地区户籍人口与行政区域土地面积之比再取对数衡量；经济密度（ED）采用地区生产总值与行政区域土地面积之比再取对数衡量。描述性统计如表 1 所示。

表 1 描述性统计

变量名	样本量	平均值	方差	最小值	最大值
GTFP	1582	0.38762	0.05566	0.29506	1.01612
GTI	1582	1.78890	1.27579	0.00000	5.83481
FDI	1582	0.00208	0.00242	0.00000	0.01787
EEL	1582	0.17455	0.03853	0.04363	0.29180
DEN	1582	5.41043	0.94596	2.24931	7.30230
ED	1582	6.73046	1.11401	3.30645	9.04745
UR	1582	0.36768	0.19661	0.07497	1.00000
FDEC	1582	0.39408	0.18146	0.05435	1.11558
HC	1582	0.01102	0.00930	0.00014	0.07804

## 4 研究结果

### 4.1 基准回归

表 2 展示了基准回归结果，结果显示 GTI 对资源型城市的 GTFP 产生了显著的正向影响。在逐步增加控制变量后，GTI 的回归系数在模型（1）至模型（6）中皆为正值，且都满足最高显著水平。这表明了 GTI 可以有效促进资源型城市 GTFP，验证了假设 H1。

表 2 基准回归结果

变量名	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
GTI	0.005*** (0.000)	0.005*** (0.000)	0.005*** (0.000)	0.005*** (0.000)	0.005*** (0.000)	0.005*** (0.000)
DEN		0.000 (0.967)	0.100*** (0.000)	0.110*** (0.000)	0.112*** (0.000)	0.112*** (0.000)
ED			-0.046*** (0.000)	-0.048*** (0.000)	-0.050*** (0.000)	-0.050*** (0.000)
UR				0.053*** (0.000)	0.054*** (0.000)	0.053*** (0.000)
FDEC					0.017 (0.117)	0.017 (0.117)
HC						0.115 (0.544)
Constant	0.379*** (0.000)	0.377*** (0.000)	0.147 (0.135)	0.082 (0.400)	0.083 (0.396)	0.084 (0.385)
Observations	1582	1582	1582	1582	1582	1582
R-squared	0.750	0.750	0.767	0.769	0.769	0.769

注：\*、\*\*、\*\*\*分别表示通过 10%、5%、1%水平下的显著性检验；括号内数值为 P 值。下表同。

### 4.2 稳健性检验

在稳健性检验中，为排除新冠疫情对回归结果可能产生的干扰，本研究剔除 2020、2021、2022 年数据进行了回归分析。结果显示，在剔除疫情年份后回归结果依然显著，说明回归结果在没有疫情特殊干扰的情况下依然稳健。同时，为消除极端值对回归结果可能造成的偏差，本文对全样本数据进行了上下 1% 的数据截尾处理，这一处理有助于消除由于异常值或极端数据引起的潜在偏误。结果显示，依然在最高显著水平上显著，说明结果稳健。

### 4.3 中介效应

根据式（2）与式（3）分别检验对外开放水平（FDI）与教育支出水平（EEL）的中介效应。结果如表 3 所示：列（1）和列（2）验证了 FDI 的中介效应，回归系数都为正相关且在最高水平显著；列（3）和列（4）验证了 EEL 的中介效应，回归系数都为正相关且在最高水平显著。同时验证了假设 H2、H3 成立。可以发现，绿色创新通过促进对外开放水平与教育支出水平从而推动了资源型城市的绿色经济效率。

表 3 中介效应结果

变量名	(1) FDI	(2) GTFP	(3) EEL	(4) GTFP
FDI		1.523*** (0.000)		
EEL				0.097*** (0.002)
GTI	0.000** (0.033)	0.005*** (0.000)	0.003*** (0.000)	0.005*** (0.000)
Observations	1582	1582	1582	1582
R-squared	0.804	0.770	0.775	0.770

#### 4.4 异质性检验

本文根据国务院发布的城市规模标准将 113 个资源型城市划分为大城市与中小城市，同时根据所属区域划分为东部、中部、西部城市，分别进行异质性检验。结果显示，中小型城市与东部地区城市的 GTI 对 GTFP 促进作用更加显著，而大城市与中、西部城市则不显著。

表 4 异质性检验结果

变量名	大城市	中小城市	东部	中部	西部
GTI	0.007 (0.353)	0.002*** (0.009)	0.010** (0.031)	0.001 (0.333)	0.000 (0.838)
Observations	280	1302	350	700	532
R-squared	0.760	0.876	0.718	0.874	0.854

## 5 总结

### 5.1 主要研究结论

本文通过 2009-2022 年中国 113 个资源型城市面板数据探讨了绿色创新对绿色经济效率的影响，并通过剔除极端事件、剔除异常值等方法进行稳健性检验。具体结论如下：（1）在资源型城市中，绿色创新可以显著提升绿色经济效率，表明绿色技术创新能够有效优化资源配置，提升资源型城市的可持续发展能力。（2）对外开放水平与教育支出水平在绿色创新与绿色经济效率之间起到了显著的中介作用，说明了外部市场的开放以及教育投入是推动绿色技术创新和提升经济效率的关键因素。（3）异质性检验结果发现，中小型城市与东部城市绿色创新对绿色经济效率的促进作用更明显。

## 5.2 政策建议

基于文章结论，提出以下建议：

第一，针对资源型城市推出绿色创新专项补助。地方政府应加强绿色技术创新的政策支持，特别是通过提供财政补贴、税收优惠以及研发资助，鼓励企业和科研机构在绿色技术、环保技术等领域进行投资和创新。

第二，优化对外开放政策与教育支出。在推动绿色创新的同时，进一步优化外资引入政策和教育投入。通过提升对外开放水平，引进国际先进的绿色技术和管理经验；同时，加强教育支出的投入，提升全社会的绿色意识和技术应用能力，为绿色创新提供更加坚实的人才支撑和知识基础。

第三，制定差异化政策。对于中小型城市，可以通过引导地方政府和企业加强技术创新与绿色产业发展，提供更多针对性的支持。对于东部城市，可以进一步加强其绿色创新的领先地位，推动绿色产业向高端化、智能化方向发展，同时注重区域间的协同创新和经验共享。

## 参考文献

- 方杏村、田淑英、王晓玲。 财政分权、产业集聚与绿色经济效率——基于 270 个地级及以上城市面板数据的实证分析[J]. 经济问题探索, 2019(11): 164-172.
- 冯锐。金融集聚、绿色技术创新和绿色经济效率[J]. 经济经纬, 2022, 39(4): 150-160.
- 王韧、段义诚、刘柳巧。 金融要素集聚的绿色创新效应：空间关联特征与城市群异质性[J]. 统计与信息论坛, 2024, 39(1): 58-73.
- 许永洪、范玉琳、刘书成。数字普惠金融的绿色金融效应——对绿色技术创新的促进证据和机制[J]. 调研世界, 2025(10): 61-73.
- 邹伟勇、钟世虎、谭赛等。数据要素对城市绿色创新影响的统计检验[J]. 统计与决策, 2025, 41(21): 61-66.
- Ahmad, M., & Jabeen, G. (2024). Relating economic openness and export diversification to eco-efficiency: Is green innovation critical?. *International Journal of Finance & Economics*, 29(3), 3203-3225.
- Alnafrh, I. (2025). Evaluating the efficiency of green innovations and renewables for sustainability goals. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 209, 115137.
- Hamid, S., & Wang, K. (2024). Are emerging BRICST economies greening? An empirical analysis from green innovation efficiency perspective. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 26(2), 533-550.
- Hou, G., & Shi, G. (2024). Green finance and innovative cities: Dual-pilot policies and collaborative green innovation. *International Review of Financial Analysis*, 96, 103673.
- Liao, W. (2025). Fiscal expenditure efficiency and green economic efficiency: evidence from Chinese cities. *Journal of Environmental Planning and Management*, 68(11), 2716-2741.
- Lin, B., & Zhou, D. (2025). A new green transition driver: How does artificial intelligence affect the green economic efficiency?. *Energy*, 137808.
- Si, R., Wang, Y., Cao, M., & Wen, H. (2024). Does green technology innovation promote green economic growth? Examining regional heterogeneity between resource-based and non-resource-based cities. *International Review of Economics & Finance*, 94, 103406.

Sun, Q. (2024). Smart city and green innovation: Mechanisms and industrial emission reduction effect. *Heliyon*, 10(9).

Zhao, K., Zhang, Y., & Hamadou, K. Y. (2025). Unveiling the pathways: How technological innovation shapes green economic efficiency. *International Review of Economics & Finance*, 104574.

Zhu, Y., Liu, Z., Feng, S., & Lu, N. (2022). The role of fiscal expenditure on science and technology in carbon reduction: Evidence from provincial data in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(54), 82030-82044.

## **The Impact of Green Innovation on Urban Green Economic Efficiency: From the Perspective of Resource-Based Cities**

Jiayun Zhang

### **Abstract**

Based on panel data from 113 resource-based cities in China from 2009 to 2022, this paper empirically tests the impact of green innovation on green economic efficiency, as well as the mediating effects of the level of opening-up and educational expenditure. The results show that: (1) Green innovation can significantly improve green economic efficiency in resource-based cities; (2) The level of opening-up and the level of educational expenditure play a significant mediating role between green innovation and green economic efficiency; (3) The heterogeneous hierarchical analysis of city categories reveals that the promoting effect of green innovation is more prominent in small and medium-sized cities as well as eastern China. It is suggested that special subsidies for green innovation be provided to resource-based cities, policies on opening-up and educational expenditure be optimized, and differentiated policies be formulated to boost the sustainable development of the green economy.

**Keywords:** Green Innovation; Green Economic Efficiency; Resource-Based Cities