

# 迈向“双碳”研究系列报告

中国石油大学（北京）碳中和与能源创新发展研究院

2024 年 12 月 28

# 京津冀与珠三角工业企业研发创新对碳排放强度的时空影响对比研究

## 核心摘要

中国重视降低碳排放强度，而研发创新是降低碳排放强度的有效手段，且京津冀和珠三角的工业企业发展发挥重要作用。因此本文基于京津冀和珠三角各地级市工业企业 2010-2022 年的面板数据，从研发规模和创新效率两个维度、时间和空间两个视角，实证对比分析京津冀和珠三角工业企业研发创新对碳排放强度的时空影响。结果显示：(1) 在指标测算上，京津冀地区和珠三角地区的研发创新存在差异。京津冀地区和珠三角地区的研发规模在研究期内分别呈 S 型增长趋势和稳定快速增长趋势；珠三角地区间创新效率差距更大，且整体低于京津冀。(2) 在空间视角上，京津冀地区和珠三角地区的研发规模和创新效率对碳排放强度存在空间效应和不同的空间传导方式。(3) 在时间视角上，京津冀的研发规模对碳排放强度的影响存在两阶段特征，珠三角的创新效率对碳排放强度的影响呈现长期积累特征。研究创新性的对比两大重点城市群研发创新对碳排放强度的时空影响，探究差异化。研究结果将为解决区域间的创新资源分配不合理问题，提升城市空间形态与功能布局，推动区域协同碳减排提供参考。

## 1. 研究背景与目的

为应对严峻的气候变化形势，中国积极推进碳达峰碳中和，逐步推动能耗双控转向碳排放双控，其中碳排放强度同时结合了碳排放量

和经济产出，提供了较为全面的评估视角。中国“十五五”时期以控制碳排放强度为主<sup>[1]</sup>，强化碳排放强度管理更好发挥节约降碳的经济效益与生态效益<sup>[2]</sup>。但目前中国经济增长仍主要依赖化石能源主导的能源结构，降低碳排放强度较为困难。而研发创新是普遍认可的降低碳排放强度的有效解决办法。其在推动产业结构升级、提高资源利用效率、优化能源消费结构，进而降低碳排放强度方面发挥不可替代的作用。城市群作为推动区域经济增长和环境可持续发展的重点区域，在通过发展研发创新降低碳排放强度方面的重要作用不容忽视。在中国城市群中，京津冀和珠三角是中国最初确定的国家级城市群典型代表，具有强大的工业基础和创新能力。京津冀地区是中国北方经济增长最快、人口规模最大、城市群及产业群最为密集的区域之一，拥有丰富的自然资源和坚实的工业基础。在环境问题日益严峻的背景下，该地区作为国家政策重点协调发展的区域，亟需通过研发创新探索有效的碳排放减少途径<sup>[3]</sup>。珠三角地区则是中国南方经济发展最为活跃的区域之一，亦是全球重要的制造业基地。随着新兴科技基础设施的集群效应逐渐显现及创新成果不断涌现，珠三角正逐步成为重要的原始创新策源地，同时支持广东在全国创新能力排名中到 2022 年连续六年居首位。深入探讨珠三角地区研发创新对碳排放强度的影响，不仅具有重要的示范引领作用，还为区域可持续发展提供重要参考<sup>[4]</sup>。而工业企业是京津冀和珠三角城市群中研发创新和碳排放的主体，根据《中国碳中和目标下的工业低碳技术展望》，2022 年其碳排放量间接排放接近 80 亿吨，占中国总排放近 70%，是通过研发创新推动碳

减排的重要力量。

在此背景下，本文将研发创新区分为研发规模和创新效率两个维度，分别测算研发规模、创新效率和碳排放强度，在三者通过莫兰指数检验的基础上，选择合适的空间计量模型，探讨京津冀和珠三角工业企业的研发创新对碳排放强度的空间与时间影响，有助于解决区域间的创新资源分配不合理问题，提升城市空间形态与功能布局，为调整研发创新降低碳排放强度提供理论支撑，在推动区域协同减排方面发挥示范引领作用。

## 2. 研究思路与方法

### 2.1 数据基础及来源

参考国家统计局做法，本文选取了 2010-2022 年京津冀和珠三角各地区规模以上工业企业各指标数据<sup>[5]</sup>，其中测算碳排放强度使用的各种类能源消费量、平均低位发热量和单位热值含碳量数据来自《中国能源统计年鉴》和各地区统计年鉴；测算研发规模和创新效率使用的 R&D 经费、R&D 全时人员当量、专利申请数和新产品销售收入数据来自《中国科技统计年鉴》、《河北统计年鉴》和各地区统计年鉴；空间杜宾模型涉及的控制变量均来自各地区统计年鉴。为确保数据的准确性和可靠性，在填补缺失值的基础上，以 2010 年为基期采用 CPI 对 R&D 经费、新产品销售收入、人均工业生产值、产值能耗做平减处理，从而消除价格变动的影响；且为消除不同指标数量级相差较大的影响，对全部从业人员年平均数和人均工业生产值取自然对数。

## 2.2 研究边界及范围

本研究的研究范围为京津冀和珠三角各地级市的工业企业，依据《京津冀协同发展规划纲要》和中国人民政治协商会议全国委员会发布的《打造超级“梦之湾”——深圳市政协专题协商如何在粤港澳大湾区中发挥更大作用》界定本文研究城市群范围，以 2010-2020 年京津冀 13 个地级市和珠三角 9 个地级市为样本。

## 2.3 研究方法

鉴于城市群内部存在地区间联动和研发创新要素及碳排放强度流动，在研究研发创新对碳排放强度的影响时，使用空间计量模型可以考虑到各要素在地区间的相关性，其中空间杜宾模型同时兼顾被解释变量和解释变量的空间相关性，能进一步分析解释变量对被解释变量的直接效应和溢出效应，有效避免因忽略空间因素导致的结果偏差。因此本文以空间杜宾模型为基础开展实证分析，其基本表达形式如下：

$$C = \alpha WC + \beta X + \gamma WX + \varepsilon$$

其中， $C$  代表被解释变量， $X$  代表解释变量， $\alpha$  为空间自回归系数， $W$  为空间权重矩阵， $\beta$  为解释变量系数， $\gamma$  为解释变量的空间滞后系数， $\varepsilon$  为随机误差项。空间权重矩阵和模型变量具体设定分别如表 1、2 所示。

在空间矩阵的选择中，邻接矩阵、反地理距离矩阵和经济距离矩阵是最基本且广泛应用于学术研究中的矩阵。因此，本文采用这三种空间权重矩阵来构建空间杜宾模型。邻接矩阵着重强调区域间的地理毗邻关系，反映了空间上的直接互动；若两个区域相邻，则矩阵对应

位置的值为 1，反之则为 0<sup>[6]</sup>。反地理距离矩阵则基于区域间的空间距离构建，通常认为距离越近的区域之间关系越密切，该矩阵强调距离对于区域间影响的减弱效应。经济距离矩阵通常根据区域间的经济相似性（如经济规模、产业结构等）进行构建，强调经济相似性越高的区域之间互动越强<sup>[7]</sup>。以上三者从地理毗邻、空间距离以及经济相似性提供了多视角的空间分析框架。

表 1 空间权重矩阵

矩阵类型	定义方式
邻接矩阵 W1	$W_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ 地区和 } j \text{ 地区相邻} \\ 0, & i \text{ 地区和 } j \text{ 地区不相邻} \end{cases}$
反地理距离矩阵 W2	$W_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{s_{ij}}, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases}, s_{ij} \text{ 表示 } i \text{ 地区和 } j \text{ 地区之间的距离}$
经济距离矩阵 W3	$W_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{ Y_i - Y_j }, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases}, Y \text{ 表示地区研究期内平减后 GDP 的均值}$

表 2 模型变量设定

类型	名称	符号	单位
被解释变量	碳排放强度	C	吨/万元
核心解释变量	研发规模	sca	/
	创新效率	eff	/
控制变量	全部从业人员年平均数	lnp	万人/年
	人均工业生产总值	lnpc	万元/人
	外商投资比重	fore	%
	产值能耗	ei	吨/万元

### 3. 主要研究成果与结论

#### 3.1 全时段研发创新对碳排放强度的空间效应

在京津冀城市群中，创新效率对碳排放强度的直接效应显著为负

，而溢出效应不显著（见表 3）。这意味着本地创新效率的提升仅能有效促进本地碳排放强度的降低，对周边地区的碳排放强度并无明显影响。研发规模对碳排放强度的直接效应与溢出效应均显著为正，表明本地研发规模的扩大不仅显著加剧了本地的碳排放强度，同时也增加了周边地区的碳排放强度。显然，创新效率与研发规模对碳排放强度的影响存在显著差异，因此，将研发创新细分为研发规模与创新效率是科学合理的。

在珠三角城市群中，研发规模对碳排放强度的影响并不显著，而创新效率对碳排放强度的直接效应显著为负，溢出效应显著为正。这意味着当本地创新效率提高时，本地碳排放强度将随之下降，而周边地区的碳排放强度则会上升。一方面，珠三角拥有良好的科研环境与更为完善的基础设施，创新资源的投入更易产生高实用性的技术成果，这些成果的有效应用将显著降低本地的碳排放强度。另一方面，本地创新效率的提升意味着研发资源转化率的提高，即在同等成果产出下，资源消耗将减少，节约的资源可进一步投入低碳技术的研发，形成良性循环，进而实现碳排放强度的降低。鉴于珠三角一体化程度较高，随着本地创新效率的提高，更多资源将倾斜于研发创新，而其他高耗能产业可能转移至周边地区，从而导致其碳排放强度的增加。

表 3 京津冀与珠三角空间效应分解

	京津冀 (W1)			京津冀 (W2)			珠三角 (W3)		
	直接效应	溢出效应	总效应	直接效应	溢出效应	总效应	直接效应	溢出效应	总效应
eff	-0.361** (0.194)	-0.235 (0.193)	-0.597*** (0.232)	-0.369* (0.195)	0.331 (0.297)	-0.038 (0.319)	-0.152*** (0.035)	0.121* (0.064)	-0.031 (0.078)

sca	0.304*	1.231**	1.534***	0.567**	2.048**	2.615***	-0.085	-0.028	-0.113
ei	1.763***	-0.499	1.263***	1.838***	-0.760	1.079*	0.431*	0.098	0.529***
lnp	-0.478	-0.699***	-1.177***	-0.608	-0.371	-0.979***	-0.412***	-0.180	-0.592***
lnpc	-0.377	0.094	-0.282*	-0.352	0.353	-0.001	-0.042	0.089	0.047**
fore	-0.358	1.997**	1.639**	-0.583	4.774***	4.192***	0.021	-0.106	-0.084
	(0.172)	(0.539)	(0.543)	(0.266)	(0.962)	(0.928)	(0.116)	(0.097)	(0.125)
	(0.484)	(0.449)	(0.336)	(0.503)	(0.840)	(0.615)	(0.224)	(0.144)	(0.155)
	(0.387)	(0.235)	(0.327)	(0.374)	(0.507)	(0.359)	(0.062)	(0.224)	(0.275)
	(0.231)	(0.226)	(0.149)	(0.236)	(0.411)	(0.289)	(0.078)	(0.078)	(0.072)
	(0.486)	(0.825)	(0.761)	(0.465)	(0.817)	(0.784)	(0.102)	(0.114)	(0.052)

### 3.2 分阶段研发创新对碳排放强度的空间效应

京津冀城市群在第一阶段的结果显示：创新效率对碳排放强度的直接效应与溢出效应均不显著，而研发规模对碳排放强度的直接效应与溢出效应均显著为正（见表 4），这表明本地研发规模扩大将导致本地和周边地区的碳排放强度增加。此现象可能归因于国家初期推行研发创新以推动碳减排政策的效应，京津冀作为典型城市群积极响应，大量资源被投入以扩大研发规模。在此过程中，企业为回收成本而增产，进而加剧了碳排放强度。此外，部分地级市的创新成果在本地降低碳排放强度的应用效果有限，未能有效发挥减排作用，反而在生产过程中产生了额外的碳排放。同时，本地扩大创新规模的成果产出将扩散至周边地区，初期大规模的创新技术部署往往伴随着高能耗，导致周边地区的碳排放强度不减反增。另外，本地研发规模的扩大可能催生新的产业链，增加制造生产活动，其中部分高碳排放强度的活动被转移至周边地区，进一步推高了碳排放强度。值得注意的是，同时京津冀各地级市的碳排放强度呈现“高-高”集聚，本地研发规模扩大

导致增加的碳排放强度将扩散至周边地区。

在第二阶段，创新效率对碳排放强度的直接效应不显著，但溢出效应显著为正；而研发规模对碳排放强度的直接效应与溢出效应均显著为负（见表 4）。在创新效率维度，与全阶段不显著的结果不同，本地创新效率的提升增加了周边地区的碳排放强度。在研发规模维度，这可能是由于吸收了前一阶段的经验教训，且技术成果更加成熟，有效提高了能源利用率，推动了整体的绿色转型和能源结构变革，从而降低了碳排放强度。此外，《国家重点推广的低碳技术目录》的发布以及 2015 年《中国应对气候变化科技专项行动》的全面实施，为研发创新降低碳排放强度提供了明确指导。此时，研发规模的扩大更多地依赖于创新成果的产出，而非前一阶段的资源投入（见图 1）。随着京津冀一体化进程的推进，本地研发规模的扩大带动了周边地区的研发创新，进而降低了周边地区的碳排放强度。同时，随着技术的不断进步，研发创新成果的适用性更强，不仅能够有效降低本地的碳排放强度，还能在传播到周边地区时发挥同样的减排效果。

在珠三角城市群中，研发创新对碳排放强度的空间效应并未表现出明显的阶段性特征。如表 4 所示，仅在 2010-2022 年期间，创新效率对碳排放强度表现出负向的直接效应和正向的溢出效应。这表明，创新效率的提升需要长期的积累才能对碳排放强度产生显著的负向影响。

表 4 京津冀与珠三角分阶段空间效应分解

京津冀 2010-2014	京津冀 2015-2022	珠三角 2010-2022
---------------	---------------	---------------

	直接效应	溢出效应	总效应	直接效应	溢出效应	总效应	直接效应	溢出效应	总效应
eff	-0.208 (0.194)	0.643 (1.003)	0.434 (1.046)	-0.035 (0.158)	1.041*** (0.323)	1.006*** (0.291)	-0.152*** (0.035)	0.121* (0.064)	-0.031 (0.078)
sca	0.982*** (0.220)	3.122*** (0.652)	4.104*** (0.776)	-0.773* (0.461)	-1.855** (0.913)	-2.628** (1.120)	-0.085 (0.116)	-0.028 (0.097)	-0.113 (0.125)
ei	2.511*** (0.577)	-1.857 (1.715)	0.654 (2.108)	2.148*** (0.647)	-1.397* (0.771)	0.751 (0.731)	0.431* (0.224)	0.098 (0.144)	0.529*** (0.155)
lnp	-0.215 (0.224)	-2.587* (1.367)	-2.803* (1.367)	-0.318 (0.308)	0.021 (0.202)	-0.297 (0.253)	-0.412*** (0.062)	-0.180 (0.224)	-0.592*** (0.275)
lnpc	-0.565** (0.283)	-1.263** (0.517)	-1.828*** (0.565)	-0.269 (0.263)	0.159 (0.422)	-0.109 (0.350)	-0.042 (0.078)	0.089 (0.078)	0.047** (0.072)
fore	-0.346 (0.476)	2.062 (1.346)	1.715 (1.148)	0.063 (0.497)	1.942 (1.361)	2.006 (1.475)	0.021 (0.102)	-0.106 (0.114)	-0.084 (0.052)

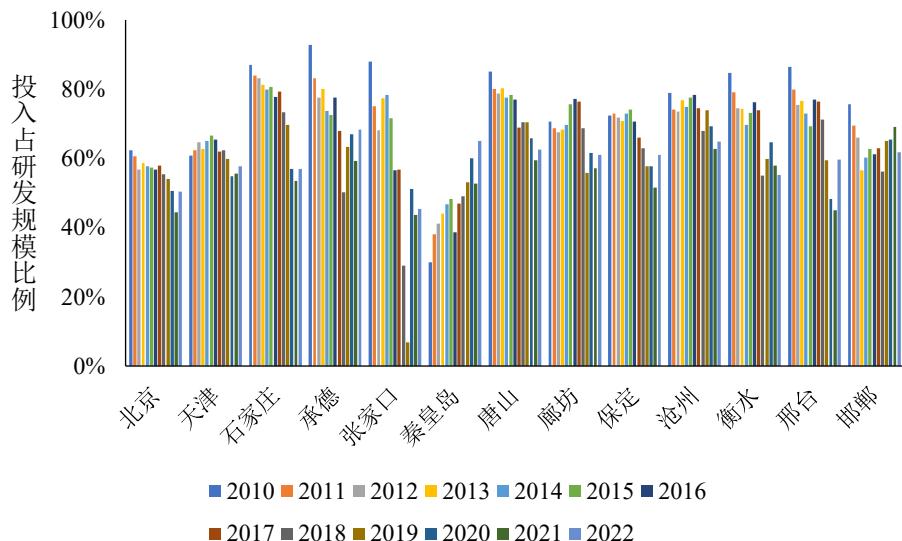


图 1 京津冀城市群投入占研发规模比例

### 3.3 京津冀与珠三角研发创新对碳排放强度的时空效应对比

结合空间权重矩阵，京津冀与珠三角在空间传播路径上存在显著差异。京津冀因内部经济差异较大，其溢出效应更依赖于地理位置，故在空间效应分解中，邻接矩阵与反地理距离矩阵下的溢出效应更加显著。而珠三角内部一体化程度高，经济发展差异较小，区域间的活动互动更多地依赖于经济距离，因此，在经济距离矩阵下的溢出效应更为显著。

从空间效应系数角度，在创新效率维度，与京津冀的创新效率对碳排放强度溢出效应无明显影响不同，珠三角创新效率对碳排放强度的溢出效应显著为正。这是因为珠三角的一体化程度更深，且珠三角创新资源更加丰富，各地区创新能力差距较小，资源抢占现象更加明显。同时出于优化产业结构的目的，经济差距小的地区将承接更多高耗能的产业。在研发规模维度，京津冀研发规模对碳排放强度的直接和溢出效应均显著为正，而珠三角研发规模对碳排放强度的直接和溢出效应均不显著。本段虽然是对比空间系数，但也仅对比系数的正负和显著性，并不比较大小。

从时间角度分析，京津冀城市群呈现出明显的两阶段特征。研发规模对碳排放强度的直接效应与溢出效应在两个阶段中呈现出相反的趋势。而珠三角城市群则未表现出这一特征，这可能是由于珠三角创新资源丰富，研发创新能力相对较强，目前已处于稳定发展阶段。相比之下，京津冀城市群仍处于发展阶段，研发创新水平正在不断提升，并逐渐发挥出降低碳排放强度的作用。然而，值得注意的是，在珠三角城市群中，创新效率在 2010-2022 年期间对碳排放强度产生了显著影响，而在其他阶段则未表现出显著影响，这表明创新效率需要经过长期的积累才能对碳排放强度产生显著影响。

## 4. 主要结论及政策建议

### 4.1 主要结论

- 京津冀地区和珠三角地区的研发规模和创新效率对碳排放强度存在空间效应，但两个城市群特点存在差异。在创新效率对碳排放

强度的影响方面，珠三角地区的创新效率对碳排放强度的直接效应显著为负，溢出效应显著为正，而京津冀地区创新效率对碳排放强度的直接效应显著为负，无显著溢出效应；在研发规模对碳排放强度的影响方面，京津冀地区研发规模对碳排放强度的直接和溢出效应均显著为正，而珠三角地区均不显著。结合空间权重矩阵，京津冀地区在邻接矩阵和反地理距离矩阵下，研发创新对碳排放强度存在显著的空间溢出效应，而珠三角地区则是依赖经济距离矩阵。

- 京津冀地区和珠三角地区的研发创新对碳排放强度的空间效应存在时间特征。在研发规模维度，京津冀地区研发规模对碳排放强度的直接效应和溢出效应由第一阶段的正向影响转向第二阶段的负面影响，即扩大研发规模以降低碳排放强度在京津冀城市群内存在时滞性，但在珠三角地区没有这种明显的两阶段特征。在创新效率维度，珠三角地区的创新效率仅在研究全时段内对碳排放强度存在显著影响，说明创新效率需要长期积累才能发挥作用。

## 4.2 政策建议

### (1) 针对各区域发展特征，构建差异化协同机制。

在京津冀地区，强化地理邻近城市间的技术协同网络，建立“研发-减排”跨区域补偿机制，缓解研发规模对碳排放强度的正向溢出效应。此外还应着重提升创新效率，以发挥其降低本地碳排放强度的作用。特别是石家庄与唐山两地，其创新效率存在较大的提升空间，亟需调整资源配置策略；同时，强化区域间的联动效应，发挥秦皇岛、

北京、保定等高创新效率城市的引领作用，促进创新效率的溢出与扩散。

在珠三角地区，深化内部经济要素流动，促进创新效率空间均衡，利用经济距离特性强化城市间低碳技术协同效应则需持续优化创新效率，以通过提高创新效率达到降低本地碳排放强度的目的。应重点关注深圳等创新资源丰富但效率有待提升的城市，避免资源在高发展区域过度集中，为落后地区提供必要的扶持，构建优势互补、协同发展的区域格局，有效规避周边地区的恶性竞争。

(2) 根据阶段性发展特征，提前布局。基于研发规模对碳排放强度影响的时滞性特征，以及创新效率仅在长期发挥作用的规律，需提前规划并落实相关政策保障措施，确保研发创新活动的持续性与稳定性。

在京津冀地区，设立研发规模扩张缓冲期，配套碳排放强度预警系统，以应对由于时滞性带来的前期碳排放强度增加，同时建立低碳技术示范带，加速第二阶段负向影响的研发成果转化。

在珠三角地区，则需提前布局以实现长期提升创新效率的政策框架，强化创新成果的长期积累。同时，通过加大对研发投入创新的支持力度，缩短创新效率的累计周期，促进创新效率提高带来的成果及时转化。

## 参考文献

- [1] 国务院.加快构建碳排放双控制度体系工作方案[EB/OL].2024.  
[https://www.gov.cn/zhengce/content/202408/content\\_6966079.htm](https://www.gov.cn/zhengce/content/202408/content_6966079.htm)
- [2] 国务院.2024-2025 年节能降碳行动方案[EB/OL].2024.  
[https://www.gov.cn/zhengce/content/202405/content\\_6954322.htm](https://www.gov.cn/zhengce/content/202405/content_6954322.htm)
- [3] 赵洋.科技进步视角下京津冀地区绿色金融对碳减排的影响研究[D].河北金融学院,2023.DOI:10.27837/d.cnki.ghbjr.2023.000121.
- [4] 新华社.新路径、新平台、新体系——珠三角破除路径依赖打造发展新引擎[EB/OL].2023.  
[https://www.gov.cn/xinwen/2023-01/21/content\\_5738302.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2023-01/21/content_5738302.htm).
- [5] 国家统计局 .2021 年中国创新指数为 264.6[EB/OL].2022.  
<https://www.stats.gov.cn/>,2022-10-28.
- [6] Anselin, L. Spatial Econometrics: Methods and Models[M]. 1988.Kluwer Academic Publishers.
- [7] Batten, D. F., etc. Network Economics: A New Paradigm for Industrial Policy[J].2005.Edward Elgar Publishing.