

引文格式: 肖雁飞, 张宝玺, 胡立涛. 中国区域绿色创新的同群效应及形成机制研究 [J]. 常州大学学报(社会科学版), 2023, 24 (1): 10-21.

# 中国区域绿色创新的同群效应及形成机制研究

肖雁飞, 张宝玺, 胡立涛

**摘要:** 区域如何绿色创新并协同推进是实现高质量发展的重大问题。借鉴同群理论解释区际绿色创新的追赶行为, 选取 2004—2019 年中国 31 个省级区域面板数据, 运用空间计量模型从社会互动视角检验地方政府执行环境政策的动机和激励机制。研究结果表明: 中国存在显著的区域绿色创新同群效应, 且具“地理相邻”强效应、“经济相邻”弱效应特征, 在进行内生性等稳健性检验后结论依然成立, 表明目前地方政府执行环境规制决策时, 更多是“择邻”模仿而不是“择优”模仿; “竞争性模仿”(环境治理)与“学习性模仿”(人力资本)两种机制均强化了同群效应, 但在“地理相邻”中更为显著, 而在“经济相邻”中影响较弱, 表明区域环境规制决策更多的是一种地理同群行为, 而向优势地区学习的“领导者-追随者”同群机制尚未发挥应有的作用。因此, 构建区域协同发展及绿色创新考核体系, 并形成区际绿色创新学习追赶机制是政策实施重点。

**关键词:** 区域绿色创新; 同群效应; 竞争性模仿机制; 学习性模仿机制

**作者简介:** 肖雁飞, 经济学博士, 湖南科技大学商学院教授、硕士研究生导师; 张宝玺, 湖南科技大学商学院硕士研究生; 胡立涛, 湖南科技大学商学院硕士研究生。

**基金项目:** 湖南省自然科学基金面上项目“环境协同下长江经济带绿色创新‘同群激励’机理及湖南追赶策略研究”(2021JJ30286)。

**中图分类号:** F205 **文献标志码:** A **Doi:** 10.3969/j.issn.2095-042X.2023.01.002

改革开放以来, 中国在经济快速发展的同时也产生了环境污染、发展不均衡等问题, 对此, 习近平总书记多次提出要“积极探索协同推进绿色发展新路子”<sup>[1]</sup>。绿色发展重要推动力在于创新驱动, 因此, 在新发展理念下, “区域绿色创新协调发展”成为新时期的区域发展新理念。绿色创新源于环境和生态问题, 常与“生态创新”“环境创新”等概念等同<sup>[2]</sup>, 随着技术和制度不断发展, 学者们把产品、工业、制度等创新纳入绿色创新概念中<sup>[3-4]</sup>, 形成“基于技术进步的环境绩效改进”的概念认知<sup>[5]</sup>, 使得绿色创新影响因素从单纯的环境规制因素拓展到技术推动和市场拉动方面。目前, 区域绿色创新协调发展研究正成为前沿研究, 研究主要是从绿色创新效率评价出发, 探讨区际是否存在绿色创新关联效应, 如刘章生等<sup>[6]</sup>研究认为区域绿色创新效率空间收敛特征显著, 其解释为绿色创新能力较低地区存在“追赶”高能力地区趋势。从社会学同群理论视角来看, “追赶”说明高能力地区具有绿色创新同群引领作用, 有效激励此种同群引领效应, 进而形成区际“领导者-跟随者”绿色创新追赶模式, 显然是区域绿色创新协同推进的可行路径。然而, 虽然学者们发现了“追赶”特征, 但对区际“为何追赶”“如何追赶”等机理问题尚未进行深入探索, 有必要研究同群激励这一新机制对区际绿色创新追赶与协调发展的影响机理及空间效应。

## 一、文献综述与问题提出

区域绿色创新研究受到学术界广泛关注, 如何推进区际绿色创新是重要课题。现有文献基于“波特假说”理论<sup>[7]</sup>、“污染天堂假说”理论<sup>[8]</sup>等, 分析了区域内外部环境规制因素对区际绿色创新的推动效应, 主要有三种: 一是高标准环境规制下区际绿色创新效应。“波特假说”认为, 严格的环境规制能够倒逼企业从事创新。因此, 当地方政府执行严格的环境规制互动策略时, 区际将形成竞相向上的创新态势<sup>[9-10]</sup>。典型观点如 Vogel<sup>[11]</sup>认为当地区偏向于吸引优质流动性要素(如高级人才等), 为了创造吸引优质要素的生活环境, 地区会偏向于制定高标准环境规制, 其他地区为了获得同等优质要素, 也会制定相应的政策。因此, 区际形成高标准环境规制竞争态势, 促使污染产业无处可转, 进而倒逼区际绿色创新。二是低标准环境规制下区际绿色创新抑制效应。“污染天堂假说”认为, 当一国加强环境规制后, 由于各国环境规制因素不同, 将为污染企业转移提供条件。因此, 政府间难以形成统一的高环境规制标准互动策略, 区际呈现环境规制逐底竞赛态势<sup>[12]</sup>。典型观点如 Woods<sup>[8]</sup>认为当地区为了竞争一般流动性要素(如资本等)时, 如果区际资源禀赋差异性小, 降低环境规制标准往往会成为一个核心竞争要素。当区际纷纷降低环境标准时, 则会出现环境规制低水平竞争态势, 相邻区域均将成为“污染避难所”, 区际绿色创新将被抑制。三是环境规制协同下区际绿色协同创新效应。更多学者认为环境规制的绿色创新效应具有不确定性, 即环境规制与其他因素共同影响绿色创新方向, 最为权威的是 Rennings<sup>[13]</sup>构建的“技术推动—市场拉动—环境规制推动”模型, 并以此拓展到对企业战略、企业知识获取类型、管理者环保意识、跨国公司技术转移、FDI 等影响因素的研究。区域学者将影响因素差异理解为资源差异, 并以此探讨环境规制实施差异下区际环境规制策略互动效应及绿色协同创新问题。典型观点如 Frank<sup>[14]</sup>认为, 理论上区际高环境规制标准竞争态势是实现区域绿色创新的推动力, 但绿色创新具有“门槛效应”, 现实发展中只有跨越区域环境规制创新成本门槛, 才能激发创新。然而现实中若要求所有地区制定同一标准的环境规制标准, 既损害后发地区发展权利, 也不利于区域协调发展, 因此, 不同区域选择适宜的环境政策是关键<sup>[15]</sup>。具体到中国研究, 随着环境规制加强和经济发展水平提升, 学者们证实在全国范围内已凸显创新激励下的“波特效应”, 但存在区域差异, 表现为东部地区“绿色创新”而中西部“污染转移”<sup>[16-17]</sup>, 说明发达地区已跨越环境规制门槛, 但区际规制非协同性导致污染转移, 降低了绿色创新整体效果。因此, 结合地区不同经济发展阶段和区域经济关联特征, 构建区际环境规制协同发展差异化机制, 成为有效激励区际绿色创新的关键<sup>[18]</sup>。然而, 区际环境政策差异势必又为污染天堂假说提供条件, 区际环境政策如何互动以实现“区际绿色协同创新”依然是关键问题。

同群来自社会互动理论, 体现个体之间决策相互影响内生社会互动行为<sup>[19]</sup>。同群效应广泛存在于经济活动中, 对企业创新行为、地方决策者行为、地区创新互动行为等有显著影响。研究者认为在“竞争性”和“学习性”等模仿机制作用下, 向同群优势企业或地区学习模仿成为一条可行且有效参照路径, 有效激励同群行为将有助于企业技术创新和地区决策优化。目前, 同群效应研究主要从行业层面和地区层面探讨同群效应的存在性。在地区层面, 学者们研究表明在技术创新、地方决策、区域经济增长等方面均存在“地理相邻”“经济相邻”层面的同群效应。如邓慧慧等<sup>[20]</sup>认为地方政府在设立开发区时存在“地理相邻”与“经济相邻”决策模仿同群行为特征, 而形成同群特征的主要机制是来自地区绩效考核和风险规避倾向下的“竞争性模仿机制”,

以及模仿或追随其他地区决策的“学习性模仿机制”，进而形成区际开发区设立决策的“领导者—跟随者”占优策略；石磊等<sup>[21]</sup>研究表明中国区域经济增长存在不同经济收入水平的“经济相邻”同群效应，并表现出抑制或促进相邻城市发展的“地理相邻”同群异质性特征。遵循这一同群机制研究思路，近年来，部分学者开始关注企业绿色创新的同群效应。如王旭等<sup>[22]</sup>从行业层面研究了制造业企业绿色技术创新的同群效应，认为在内部“竞争者趋利”（竞争性模仿）与“共生者避害”（学习性模仿）动因下，以及外部环境规制和知识产品制度环境约束下，企业在进行绿色技术创新时，具有行业层面的同群现象；张艳等<sup>[23]</sup>则从地区层面探讨了企业绿色技术创新的同群效应及差异化策略，认为企业绿色技术创新决策具有地区同群效应，而决定企业绿色技术创新地区同群因素主要在于环境规制强度与企业能力，即只有在企业能力和环境规制均较强时，地区绿色技术创新同群的效应才会触发。虽然，学者们关注到了企业绿色技术创新的同群效应问题，但对区域绿色创新是否存在同群效应问题鲜有触及。从同群理论来解释区域绿色创新行为及特征，实际上是探讨地方政府在实施环境规制行为时，是否有借鉴和学习其他地区的环境政策策略。在有关地方政府环境规制决策行为研究中，一般认为，区际吸引“一般流动性要素”更多的是一种竞争行为，“竞争性模仿”是区际环境规制逐底竞赛形成的主要原因，由此抑制了区际绿色创新，而区际绿色创新产生的原因则可能是环境规制决策“独立”实施行为，如李胜兰等<sup>[24]</sup>的研究。但是，近年来随着我国环境规制强度不断增强，区际绿色创新开始凸显，有学者认为地区间为了吸引优秀人才，开始相互学习环境政策实施策略，以此形成地区间环境规制“学习性模仿”互动策略，是区际环境规制竞相向上形成的主要原因，由此激发了区际绿色创新，如金刚等<sup>[17]</sup>的研究。然而，虽然学者们关注区际绿色创新激发问题研究，但鲜有从同群理论视角探讨区域绿色创新同群效应及形成机制。因此，本文将基于竞争理论、环境规制理论、同群行为理论等，结合空间互动计量方法，检验中国区域绿色创新同群效应的存在性，以此厘清中国区域绿色创新同群的空间特征。并且，考虑到区域通过环境规制吸引“优质流动性要素”与“一般流动性要素”的目的性不同，本文依据同群效应理论，将“学习性模仿”机制与“竞争性模仿”机制纳入研究框架，考察“学习性模仿”与“竞争性模仿”对区域绿色创新同群效应及空间特征影响的调节机制，以此为地方政府制定和执行环境规制政策，提供一种解决“两难”问题的新思路与新路径。

## 二、理论分析与假设提出

### （一）区域绿色创新同群效应的存在性

在区域绿色创新同群效应存在的“地理邻近”特征分析上，我们认为，考虑到信息获得的便利性和资源条件的相似性，在制定和执行环境规制政策时，地方政府会参考地理上与之相邻或地理特征相似的对象。而对于作为区域绿色创新主体的企业而言，信息有限的企业决策者会学习和模仿同伴的决策行为，考虑到信息交流与获得的成本因素，地理距离上相近的企业间交流会更加紧密。因此，不论是地方政府还是企业主体，在实施绿色创新行为和决策时均会瞄准地理邻近对象并受其影响而做出相似的行为决策，从而形成地理距离上的同群集聚特征。在此分析基础上，本文提出：

H1：区域绿色创新存在“地理邻近”的同群效应。当区域绿色创新绩效较高时，其会倾向于模仿高标准环境规制的区域决策行为，而“地理相邻”有利于地区间共同抵御绿色区域绿色创



新外部性风险。随之, 区际形成环境规制竞相向上的竞争态势, 区际绿色创新水平整体提升。

在分析区域绿色创新同群效应存在“经济邻近”特征时, 我们认为, 改革开放以来, 以经济建设为中心一直是中央政府的发展共识。在 GDP 晋升锦标赛情境下, 地方政府官员为了取得更好的经济政绩, 在做政策决策时更愿意将经济发展水平较高的地区作为学习模仿对象, 由此导致经济发展水平相近的地区间存在较强的竞争行为。但是, 近些年来, 可持续绿色发展成为地方政府政绩考核的重要因素, 一些地区甚至设定环境保护“一票否决”制度。因此, 地方政府在执行环境规制决策时, 也会将经济发展水平较高或相近的地区作为模仿对象。一般研究认为, 模仿经济发展水平较高地区是一种学习行为, 有助于区域协调发展, 但“波特假说”认为, 合理的环境规制才能激发企业技术改造和管理创新, 从而获得创新补偿效应。因此, 在区域绿色创新同群行为中, 向经济发展水平高的地区学习高标准环境规制决策行为, 可能在现实发展中较难以实现。而经济发展水平相近的地区存在相互竞争行为, 同时, 还存在相似晋升“标尺”目标。因此, 在制定绿色创新决策时, 地区会参照、模仿经济发展相近地区所做出的环境规制行为, 进而形成经济发展水平相近地区的绿色创新同群效应。由于环境规制对不同经济发展水平的地区激发效应不同, 因此, 不同水平的区域经济群体之间的同群效应反倒不明显。在此分析基础上, 本文提出:

H2: 区域绿色创新存在“经济相邻”的同群效应。相同经济发展水平的地区在做出环境规制策略行为时, 会相互参考彼此的决策行为, 从而导致同一水平的区域经济发展群体形成环境规制执行互动策略, 以此对内激发区域创新, 对外抵御“污染转移”风险, 进而整个区域经济群体的绿色创新水平不断提升, 但不同发展水平的区域经济群体之间的同群效应相对较弱。

## (二) 区域绿色创新同群效应的形成机制

行为经济学认为非理性个体在面对信息不充分、结果不确定时, 会采取学习模仿、跟随行为, 驱使自身与其他个体保持一致的从众行为。绿色创新对区域而言具有高风险、高投入、回报期长等特点, 并且区域在开展绿色创新活动时面临信息有限和环境不确定等局限。因此, 决策者会学习模仿同伴的决策行为, 做出最有利的决策, 从而导致群体中个体之间的绿色创新行为趋同特征。同理, 环境规制对于地方政府而言也存在经济发展结果不确定的问题, 因此, 地方政府会学习其他区域的地方政策。各个区域学习其他区域的绿色创新行为会影响到自身的绿色创新发展。在此分析基础上, 本文提出:

H3: “学习性模仿”行为能够强化区域绿色创新的同群效应, 从而激励当地绿色创新发展。

从理性人假设角度出发, 地方政府会完全基于地区自身条件来做出决策, 然而, 现实中地方政府会参照、模仿其他决策者的决定而做出决策。一方面, 因为地方政府需要证明自己在环境保护上的作为与努力程度并不逊色于周边区域; 另一方面, 地方政府存在法不责众的风险规避心理, 即使环境规制带来的企业成本增加、产业逃离、经济下滑等问题, 官员也不会因此被追究决策失误的责任, 在晋升锦标赛中的相对位次也不会因此而下降。而企业管理者为了保证自己的个人声誉处于劳动力市场平均水平, 不会根据自己的私人信息做出决策 (这会增加个人声誉的风险), 而是倾向于模仿同行管理者的行为。且在市场竞争环境下, 企业为防止竞争者的壁垒形成和自身优势的丧失, 对竞争对手的创新行为始终保持关注且做出反应。因此, 在绿色创新行为上, 地方政府、企业等会参照同群区域的创新行为并相互竞争。在此分析基础上, 本文提出:

H4: “竞争性模仿”行为能够强化区域绿色创新的同群效应, 从而激励当地绿色创新发展。

### 三、模型设定与数据来源

#### (一) 区域绿色创新同群效应的存在性检验模型设定

同群效应主要体现了某个体特征受到其同群者特性影响的社会互动现象,邓慧慧等<sup>[20]</sup>认为空间面板模型难以解决社会互动的内生性问题,空间计量经济学方法是有效识别空间互动问题的进步。因此,本文采用空间自回归模型来识别区域绿色创新的同群效应<sup>[25]</sup>,模型设定如下:

$$Y_{it} = \alpha + \beta WY_{it} + \rho E_{it} + \mu_i + \eta_t + \epsilon_{it} \quad (1)$$

式中:  $Y_{it}$  为被解释变量,表示区域  $i$  中的绿色创新水平;  $E_{it}$  为该区域中经济社会特征的控制变量,包括产业结构、交通条件和对外开放水平;  $W$  是一个标准化的  $n \times n$  阶空间权重矩阵,表示区域之间的空间关系;  $\epsilon_{it}$  为扰动项。 $WY_{it}$  为含空间滞后项的解释变量,可以解释为除了本区域  $i$  之外其他区域绿色创新水平的空间加权均值。 $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\rho$  是需要估计的参数,其中  $\beta$  是本文关注的核心系数,若回归结果显示  $\beta$  显著为正,则表明存在同群效应;  $\rho$  为控制变量系数,反映区域其他经济社会特征对绿色创新水平的影响。为了减少可能的地区差异性和宏观经济因素影响的偏差,本文控制了个体固定效应  $\mu_i$  和时间固定效应  $\eta_t$ 。定义同属一个群体的空间权重矩阵,将其纳入空间面板模型中,可以来检验群体的同群效应;而利用不同性质的权重矩阵,可以反映各类群体之间的互动影响。

为了保证计量结果的无偏,本文参照已有地方决策及经济创新同群相关研究<sup>[20-21]</sup>,设立“地理相邻”和“经济相邻”两种权重矩阵来体现区域之间的多种群体关系,用以检验区域绿色创新水平受到不同空间矩阵同群效应的影响差异,具体构建为:一是“地理距离”权重矩阵。矩阵元素为两地距离的递减函数  $d_{ij}$ ,即  $w_{1ij} = d_{ij}^{-2}$ 。两地距离越近,矩阵元素越大,反之则矩阵元素越小。在空间经济学中,距离因素能够影响两地之间经济交流和社会交流的运输成本和时间成本,是两地人员流动、市场互动、经济关系等区际互动的直接影响因素。因此,本文将地理距离权重矩阵作为一个空间权重矩阵进行考量。二是“经济距离”权重矩阵。将矩阵元素设为  $w_{2ij} = 1/|P_{GDPi} - P_{GDPj}|$ , ( $i \neq j$ ), 否则为 0。其中  $P_{GDPi}$ 、 $P_{GDPj}$  分别为两地区的人均 GDP,两地区人均 GDP 差距越小,矩阵元素越大,反之则矩阵元素越小。两地区的对比竞争绝不仅限于和本地相近的地区比较,还会参照与本地区处于相似经济水平位置的其他地区。

#### (二) 区域绿色创新同群效应的形成机制检验模型设定

根据前文对区域绿色创新同群效应机制的梳理分析结论,“学习性模仿”和“竞争性模仿”是同群效应形成的主要调节机制,因此在模型中分别引入“学习性模仿”和“竞争性模仿”的代理变量与空间滞后性的交互项。如果交互项系数显著为正,则说明该调节机制对同群效应形成存在正向影响。具体模型如下:

$$Y_{it} = \alpha + \beta WY_{it} + \rho Z_{it} + \delta WY_{it}Z_{it} + \gamma E_{it} + \mu_i + \eta_t + \epsilon_{it} \quad (2)$$

式中:  $Y_{it}$ 、 $WY_{it}$ 、 $E_{it}$  与模型 (1) 一致,分别表示区域  $i$  中的绿色创新水平、含空间滞后项的变量以及控制变量。 $Z_{it}$  为新引入的“学习性模仿”和“竞争性模仿”的调节代理变量, $WY_{it}Z_{it}$  为“学习性模仿”和“竞争性模仿”的代理变量与空间滞后性的交互项。 $\delta$  是主要关注系数,如  $\delta$  显著为正,则说明“学习性模仿”和“竞争性模仿”是同群效应的主要形成机制。

#### (三) 变量说明与数据来源

被解释变量:绿色创新水平 ( $GI$ ),以“区域绿色创新绩效”表示。针对绿色创新绩效测度,学者们根据自身研究假设而选择不同的测度指标进行测评,由于 DEA 模型考虑了投入与产

出的技术创新效率问题，因此，常被用来测度绿色创新绩效。本文采用全局的含非期望产出的SBM-DEA模型进行测度，其中涉及投入、期望产出和非期望产出三个维度。参考已有研究，创新投入变量需要从人力与资本两个方面来选择，如王海龙等<sup>[26]</sup>选取R&D人员和资本投入作为绿色技术创新的投入变量，曹霞等<sup>[27]</sup>在创新投入方面采R&D人员全时当量和经费支出2个指标。因此，本文选用各地区“R&D人员全时当量”和“R&D经费支出”作为投入指标。传统的创新期望产出变量包括新产品销售收入、专利申请授权量等，由于“绿色专利授权量”数据难以获得，学者们一般用“专利申请授权量”代表“绿色技术创新”期望产出指标，本文借鉴孙燕铭等<sup>[28]</sup>对绿色技术创新期望产出指标选择的研究，选用“专利申请授权量”作为期望产出指标。非期望产出通常用废水、废气和固体废弃物的排放量表征，考虑到固体废弃物产生量已大幅减少<sup>[29]</sup>，参考已有研究，并考虑到数据的可得性，用“化学需氧量（COD）排放总量”和“二氧化硫（SO<sub>2</sub>）排放总量”表征。

解释变量：为其他地区绿色创新水平的空间加权值，以“含空间滞后项的区域绿色创新绩效”表示。

控制变量：将表征各地区的产业结构、对外开放水平、交通条件纳入控制变量组。产业结构（IS）以“各地区第二产业增加值在GDP中的占比”表征；对外开放水平（FDI）以“各地区外商投资企业投资总额”表征；交通条件（HM）以“各地区公路里程”表征。

调节变量：本文将进一步探讨“学习性模仿”和“竞争性模仿”机制对同群效应的调节影响。参考金刚等<sup>[17]</sup>的研究，地区吸引优质资源因素（如优秀人才）可视为“学习性”机制，地区降低环境标准可视为“竞争性”机制。因此，本文“学习性模仿”机制以“各地区普通高等学校毕（结）业生数（EDU）”表征，一般而言，受过高等教育的人通常拥有更高的学习能力，高校毕业生是就业创业以及政府基层主力军。“竞争性模仿”机制以“各地区环境污染治理投资占GDP比重（ER）”表征，一般而言，环境污染治理投资是企业短期内绿色创新成本投入和当地政府环境治理投入的资本竞争体现。因此，“环境污染治理投资比重”在一定程度上能够衡量区域间绿色创新竞争的激烈程度。

本研究以中国大陆31个省级行政区域作为研究对象，选取样本观测时间为2004—2019年。原始数据来源于《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国能源统计年鉴》。为了避免异方差问题，对所有变量进行对数化处理。主要变量描述性统计分析见表1。

表1 变量描述性统计

变量	样本值	均值	方差	最小值	最大值
绿色创新水平	496	0.2568	0.1857	0.0382	1.0000
产业结构/%	496	3.7321	0.2271	2.7720	4.1265
外商投资总额/万元	496	10.6166	1.6076	5.8021	14.4850
公路里程/km	496	2.2766	0.8671	-0.2485	3.5178
高校毕（结）业生数/人	434	17.6080	12.5829	0.2100	57.1200
环境污染治理投资比重/%	434	1.3359	0.6958	0.0500	4.6600

## 四、实证结果与分析

### （一）区域绿色创新绩效测评及空间关联性检验

在检验区域绿色创新是否存在同群效应之前，首先需要对绿色创新绩效进行有效测评并检验

是否存在空间关联性。传统 DEA 模型对绿色创新评价具有一定局限性, 本文采用全局的含非期望产出的 SBM-DEA 模型能对绿色创新绩效进行多角度的评价<sup>[30]</sup>, 具体模型如下:

$$\rho = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^x}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{s1 + s2} \left( \sum_{k=1}^{s1} \frac{s_k^y}{y_{k0}} + \sum_{l=1}^{s2} \frac{s_l^z}{z_{l0}} \right)}; \text{ s. t. } \begin{cases} x_{i0}^t = \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j^t + s_j^x, \forall i; \\ y_{k0}^t = \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j^t - s_k^y, \forall k; \\ z_{l0}^t = \sum_{j=1}^n \lambda_j z_j^t + s_l^z, \forall l; \\ s_i^x \geq 0, s_k^y \geq 0, s_l^z \geq 0, \lambda_j \geq 0, \forall i, j, k, l; \end{cases} \quad (3)$$

假设有  $n$  个决策单元, 均有投入  $\mathbf{X}$  向量, 期望产出  $\mathbf{Y}$  向量, 非期望产出  $\mathbf{Z}$  向量,  $X = (x_{ij}) \in R^{m \times n}$ ,  $Y = (y_{kj}) \in R^{s1 \times n}$ ,  $Z = (z_{lj}) \in R^{s2 \times n}$ , 令  $X > 0$ ,  $Y > 0$ ,  $Z > 0$ 。在  $t$  ( $t = 1, 2, \dots, T$ ) 时期定义其生产可能性集为:

$$P^t = \{ (x^t, y^t, z^t) \mid x^t \geq X^t \Lambda^t, y^t \leq Y^t \Lambda^t, z^t \geq Z^t \Lambda^t, \Lambda^t \geq 0 \}$$

则全局生产可能性集为:

$$P = P^1 \cup P^2 \cup \dots \cup P^T = \{ (x, y, z) \mid x \geq X \Lambda, y \leq Y \Lambda, z \geq Z \Lambda, \Lambda \geq 0 \}$$

其中  $\Lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n] \in R^n$  表示权重系数向量。 $\rho$  表示决策单元的效率值,  $s^x \in R^m$ ,  $s^z \in R^{s2}$  分别表示投入和非期望产出的过剩量,  $s^y \in R^{s1}$  代表期望产出的不足量。 $m, s1$  和  $s2$  代表投入, 期望产出和非期望产出的变量个数。当  $\rho = 1$  时, 即  $s^x, s^y, s^z$  为 0, 说明决策单元 DMU 是有效率的; 如果  $\rho < 1$  时, 代表决策单元 DMU 是非有效的, 存在投入冗余或产出不足, 可以提高效率。

根据式 (3), 计算得出中国 31 个省份的区域绿色创新绩效平均值, 见表 2 所示。可以看出, 2004—2019 年全国绿色创新绩效水平平均值为 0.2568。东部地区的绿色创新绩效均值为 0.3468, 远高于全国平均水平; 中部地区的绿色创新绩效均值为 0.2090, 西部地区的绿色创新绩效均值为 0.2237, 东北地区的绿色创新绩效均值为 0.1845, 均低于全国平均水平, 且东北地区最低, 中部地区次之。从历年的绿色创新绩效来看, 全国绿色创新绩效均值从 2004 年的 0.1379 上升到 2019 年的 0.5444, 说明创新水平不断提高, 除 2005、2008、2014 年个别年份相较前一年出现下降情况, 其余年份均高于前一年。

表 2 中国各省份区域绿色创新绩效均值

区域	省份	均值	区域	省份	均值	区域	省份	均值	区域	均值
东部地区	北京	0.3244	中部地区	山西	0.1391	西部地区	内蒙古	0.1237	全国	0.2568
	天津	0.2586		安徽	0.2800		广西	0.2137	东部地区	0.3468
	河北	0.1900		江西	0.2404		重庆	0.3363	中部地区	0.2090
	上海	0.3497		河南	0.2180		四川	0.2883	西部地区	0.2237
	江苏	0.4177		湖北	0.1822		贵州	0.3043	东北地区	0.1845
	浙江	0.6555		湖南	0.1946		云南	0.2039		
	福建	0.3305	东北地区	辽宁	0.1752		西藏	0.2387		
	山东	0.2338		吉林	0.1534		陕西	0.1766		
	广东	0.4641		黑龙江	0.2250		甘肃	0.1776		
	海南	0.2438					青海	0.1633		
							宁夏	0.1774		
							新疆	0.2806		



一般而言，全局莫兰指数用来反映整体空间是否具有集聚及集聚程度高低。因此，本文采用全局自相关系数反映空间关联性，其计算公式为：

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (\rho_i - \bar{\rho})(\rho_j - \bar{\rho})}{\sum_{i=1}^n (\rho_i - \bar{\rho})^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (4)$$

式中： $I$  为全局莫兰指数； $n$  为研究省份数量总数； $w_{ij}$  为  $0 \sim 1$  空间相邻权重矩阵； $\rho_i$  和  $\rho_j$  分别为  $i, j$  省份区域绿色创新绩效； $\bar{\rho}$  为所有省份区域绿色创新绩效平均值； $S$  为样本方差。若全局莫兰指数  $I$  为正，表示总体正相关，即高值与高值相邻、低值与低值相邻。

根据式（4）得出 2004—2019 年区域绿色创新绩效全局莫兰指数趋势图，如图 1 所示。结果显示，所有年份全局莫兰指数均大于 0 且显著，表明区域绿色创新绩效具有正空间自相关特征。从时间演变趋势看，呈现上升但波动的趋势，表现为从 2004 年的 0.230 上升到 2019 年的 0.329，且  $P$  值下降，显著性增强，说明空间相关性不断增强。

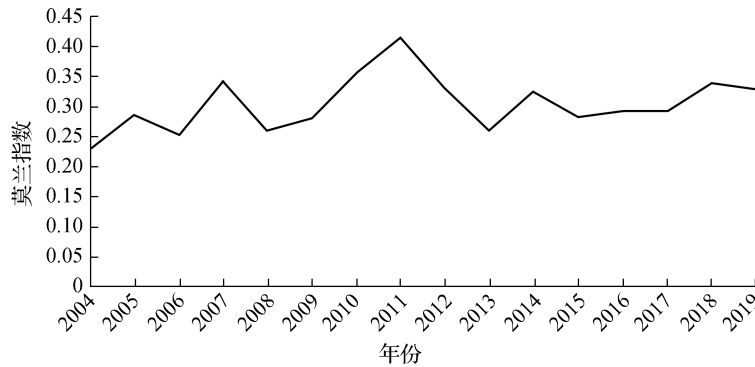


图 1 全局莫兰指数趋势图

## （二）区域绿色创新同群效应存在性检验及结果分析

空间自相关分析表明区域绿色创新绩效存在空间相关特征，因此，可以展开空间计量经济学分析。接下来，本文首先通过对空间自回归模型（1）进行豪斯曼检验确认选择随机效应或者固定效应模型。结果如表 3 所示，含经济距离权重矩阵的空间

表 3 空间自回归模型豪斯曼检验结果

	空间自回归模型	
	地理距离	经济距离
豪斯曼统计量	7.54	11.28
$P$ 值	0.0565	0.0103

自回归模型的豪斯曼统计量为正且  $P$  值小于 0.05，即拒绝原假设，应该采用固定效应。而含地理距离的空间自回归模型的豪斯曼统计量为正且  $P$  值大于 0.05，可以选择随机效应。为保证所有回归模型的一致性和可比性，含两种权重矩阵的空间自回归模型均采用固定效应模型，亦能确保回归结果一致性。

运用空间自回归模型（SAR），采取准极大似然法估计（QMLE），控制模型中的个体固定效应和时间固定效应，从而获得无偏的估计结果，估计结果见表 4。

结果显示，含地理距离权重矩阵模型（1.1）空间滞后项系数  $\beta$  显著为正，说明在地理上相邻近区域绿色创新水平正向显著影响当地绿色创新水平，区域绿色创新行为在空间上存在显著同群效应，从而验证了假设 1。含经济距离权重矩阵模型（1.2）空间滞后项系数  $\beta$  也为正显著，但与地理权重矩阵的系数相比相对较小，表明经济发展水平相近区域亦存在绿色创新同群效应，但与地理同群相比，其相关性相对较弱，在参照对象选择时优先选择“邻近”对象，验证了假设 2。



在两个模型的控制变量中，产业结构系数显著为负，说明第二产业中存在大量高能耗、高污染产业，第二产业占比越大，越不利于区域绿色创新发展；对外开放系数在 5% 水平下显著且系数为正，说明对外开放程度越高地区，能够引进国外绿色发展技术、系统和产品，从而促进地区绿色创新水平，以上结论与其他学者结论基本一致。

进一步为检验前文回归结果的稳健性，借用邓慧慧等<sup>[20]</sup>的处理方法，分别运用空间误差模型（SEM）检验基准回归的稳健性，同时借用张艳等<sup>[23]</sup>的处理方法，选取滞后一期的同群区域绿色创新绩效作为工具变量对回归结果进行重新估计，模型采用空间滞后模型（SLAG）进行稳健性检验。通过更换估计模型、更换空间权重矩阵和添加因变量滞后项 3 种方法进一步检验中国区域绿色创新的同群效应，结果如表 5 所示。表明在空间误差

模型替代空间自回归模型时回归结果保持不变，以空间邻接矩阵替换地理距离矩阵时结论依旧稳健，添加因变量滞后项后，主要变量的系符号和显著性都与表 4 的基准回归结果一致，证实基准结论是成立的。

表 5 区域绿色创新的同群效应稳健性检验结果

变量	SEM 模型			添加滞后项		
	空间相邻	地理距离	经济距离	空间相邻	地理距离	经济距离
$\beta$	0.3236*** (0.0519)	0.4550*** (0.0649)	0.2876*** (0.0600)	0.1304*** (0.0452)	0.2547*** (0.0604)	0.1552*** (0.0480)
$GI-1$				0.7613*** (0.0364)	0.7502*** (0.0360)	0.7682*** (0.0356)
$\ln IS$	-0.1249** (0.0483)	-0.1156** (0.0472)	-0.0558 (0.0534)	-0.0457 (0.0398)	-0.0431 (0.0394)	-0.0211 (0.0403)
$\ln HM$	-0.0224 (0.0366)	-0.0138 (0.0353)	-0.0093 (0.0371)	-0.0124 (0.0314)	-0.0036 (0.0312)	-0.0036 (0.0315)
$\ln FDI$	0.0356*** (0.0519)	0.0359*** (0.0147)	0.0396*** (0.0147)	0.0099 (0.0113)	0.0104 (0.0111)	-0.0107 (0.0112)
个体固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
时间固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
观测值	496	496	496	465	465	465
$R^2$	0.5620	0.5804	0.5833	0.7763	0.7878	0.7835
极大似然估计值	532.3329	535.3677	525.2464	656.3215	660.4255	657.3234

（三）区域绿色创新同群效应的形成机制检验

根据模型（2）的设置，获得表 6。

表 4 区域绿色创新同群效应的存在性检验回归结果

变量	地理距离权重 矩阵模型（1.1）	经济距离权重 矩阵模型（1.2）
$\beta$	0.4628*** (0.0642)	0.2797*** (0.0004)
$\ln IS$	-0.1348*** (0.0490)	-0.0998* (0.0512)
$\ln HM$	-0.0209 (0.0345)	-0.0228 (0.0355)
$\ln FDI$	0.0374** (0.0147)	0.0391*** (0.0150)
个体固定效应	YES	YES
时间固定效应	YES	YES
观测值	496	496
$R^2$	0.6300	0.6171
极大似然估计值	536.3887	526.5259

注：\*\*\*、\*\* 和 \* 分别表示在 1%、5% 和 10% 的统计水平上显著，括号内是标准误差。表 5 同。

表 6 区域绿色创新同群效应形成机制检验结果

变量	学习性模仿调节机制		竞争性模仿调节机制	
	地理距离 (2.1)	经济距离 (2.2)	地理距离 (2.3)	经济距离 (2.4)
$\beta$	0.1924** (0.0838)	0.0481 (0.0650)	0.2743*** (0.0802)	0.0329 (0.0665)
$EDU \times WY$	0.0167*** (0.0033)	-0.0661 (0.0552)		
$ER \times WY$			0.2267*** (0.0567)	-0.4228 (0.4334)
控制变量	YES	YES	YES	YES
个体固定效应	YES	YES	YES	YES
时间固定效应	YES	YES	YES	YES
观测值	434	434	434	434
$R^2$	0.6198	0.5311	0.5897	0.4996
极大似然估计值	574.4788	550.0775	560.0834	539.7248

注：\*\*\*、\*\*和\*分别表示在1%、5%和10%统计水平上显著，括号内是标准误差。2018、2019年部分数据缺失，选择2004—2017年样本数据。

模型 (2.1) 的  $\beta$ 、 $EDU \times WY$  交互项系数均显著为正，表示学习能力越强，该区域绿色创新行为越受同群行为的影响，因此提高区域人才储量是创新协同推进的根本。模型 (2.3) 的  $\beta$ 、 $ER \times WY$  交互项系数均显著为正，说明区域在环境污染治理投资投入越多，越会强化区际绿色创新同群效应。由此在地理相邻中，“学习性模仿”和“竞争性模仿”机制是区域绿色创新形成的重要调节因素，验证了假设 3 和假设 4。模型 (2.2) 和 (2.4) 表明在经济距离权重矩阵下的交互项系数未显著，说明了“学习性模仿”和“竞争性模仿”机制目前并不是促进中国区域绿色创新“经济同群”形成的主要机制，进一步验证了假设 2 的不同经济群体之间的同群效应较弱特征，说明经济发达地区的绿色创新引领作用不强，向经济发展水平高的地区学习和模仿尚未发挥应有的作用，意味着在经济发展水平上未形成“领导者—追随者”同群机制。同时，本文发现在“经济相邻”空间矩阵中，“学习性模仿”和“竞争性模仿”机制的系数为负，虽然不显著，但可能说明存在目标省份通过学习模仿绿色创新水平较差的省份，从而降低创新水平。从有关的研究结论来看<sup>[17-18]</sup>，中国存在东部地区“绿色创新”而中西部地区“污染天堂”效应，原因在于经济发达省份为了竞争优秀人才而提高环境规制标准，二者共同作用推进了区际绿色创新，经济不发达地区为了竞争资源而降低环境标准，从而产生区际污染同群。从同群理论来理解，向经济发达地区学习和向经济不发达地区学习的两种看似相悖的行为均可能存在，也是导致区域绿色创新同群效应存在区域异质性的原因。

五、结论和政策启示

区域绿色创新及协同推进是我国实现区域高质量协调发展战略的关键途径。本文从行为经济学同群理论出发，利用 2004—2019 年中国大陆 31 个省级行政区域的面板数据，构建空间互动计量模型进行了区域绿色创新同群效应的存在性及形成机制检验。结果表明：第一，中国区域绿色创新存在同群效应。在统计中表现为含“地理相邻”和“经济相邻”权重矩阵的绿色创新绩效正向影响本地绿色创新绩效，但“地理相邻”同群效应更显著而“经济相邻”同群效应较弱。第二，各控制变量影响程度不同。对外开放程度越高的地区，区域绿色创新同群效应越显著；二产比重越高，区域绿色创新同群效应越不显著；交通条件情况没有显著影响。第三，“学习性模仿”

与“竞争性模仿”两种调节机制均促进区域绿色创新同群效应。“地理相邻”区域通过吸引高级人才等“学习性机制”，或者通过更多的环境污染治理投入等“竞争性机制”，不但不会造成区际“创新抑制”，反倒会激发“创新集群”的出现；但在“经济相邻”层面上两种机制影响不显著，表明不同经济体同群效应强度相对较弱。

研究结论具有重要启示意义。一是构建区域间绿色创新协同发展体系。区域绿色创新存在同群效应，说明协同发展对区域绿色创新激励具有事半功倍的效果。基于我国当前区域绿色创新瞄准“地理邻近”对象模仿的同群现状，借力长江经济带、粤港澳大湾区、京津冀协同发展、长江三角洲区域一体化等国家重点区域发展战略，树立多个绿色创新增长极，从而带动我国东中西部绿色创新整体发展。二是构建绿色创新考核体系，引导地区“择优”模仿。区域绿色创新并未出现“经济择优”聚集现象，跟当前以经济增长为主导的政绩考核和追求利益最大化的企业观念有极大的关系。因此，构建绿色创新考核体系，引导地区“择优”模仿是推动区域绿色创新的重要转变。三是实施区际绿色创新学习追赶策略。“学习性模仿”和“竞争性模仿”是区域绿色创新同群效应形成的主要调节机制。盲目的“竞争性模仿”会加剧短视行为和过度竞争，需要引导地区采取合理的“学习性模仿”同群行为，向优势地区学习并形成区际“领导者-跟随者”追赶机制，如区域人才创新追赶机制、研发投入追赶机制等，矫正减少环境投入等非理性竞争性行为。

#### 参考文献：

- [1] 习近平. 在深入推动长江经济带发展座谈会上的讲话 [N]. 人民日报, 2018-06-14 (2).
- [2] KARAKAYA E. Diffusion of eco-innovation: a review [J]. Renewable & sustainable energy reviews, 2014, 45 (2): 142-158.
- [3] BEISE M, RENNING K. Lead markets and regulation: a framework for analyzing the international diffusion of environmental innovation [J]. Ecological economics, 2005, 52 (1): 5-17.
- [4] BOONS F, LUEDEKE F. Business models for sustainable innovation: state-of-the-art and steps towards a research agenda [J]. Journal of cleaner production, 2013, 45 (6): 56-70.
- [5] OECD. Sustainable manufacturing and eco-innovation: toward a green economy [R]. Paris: Policy Brief, 2009.
- [6] 刘章生, 宋德勇, 弓媛媛. 中国绿色创新能力的时空分异与收敛性研究 [J]. 管理学报, 2017, 14 (10): 1475-1483.
- [7] PORTER M E, VAN C. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship [J]. Journal of economic perspectives, 1995, 9 (4): 97-118.
- [8] WOODS D. Interstate competition and environmental regulation: a test of the race-to-the-bottom thesis [J]. Social science quarterly, 2006, 87 (1): 174-189.
- [9] KONISKY M. Regulatory of competition and environmental enforcement: is there a race to the bottom? [J]. American journal of political science, 2007, 51 (4): 853-872.
- [10] 张征宇, 朱平芳. 地方环境支出的实证研究 [J]. 经济研究, 2010, 45 (5): 82-94.
- [11] VOGEL D. Trading up: consumer and environmental regulation in the global economy [M]. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1995.
- [12] 沈坤荣, 金刚, 方娴. 环境规制引起了污染就近转移吗? [J]. 经济研究, 2017, 52 (5): 44-59.
- [13] RENNINGS K. Redefining eco-innovation research and the contribution from ecological economics [J]. Ecological economics, 2000, 13 (2): 123-142.
- [14] FRANK K. Environmental regulation, technological diversity, and the dynamics of technological change [J]. Journal of economic dynamics & control, 2011, 35 (2): 528-544.
- [15] ZHU S J, HE C F, YING L. Going green or going away: environmental regulation, economic geography and firms' strategies in China's pollution-intensive industries [J]. Geoforum, 2014 (55): 53-65.
- [16] 陈诗一, 陈登科. 雾霾污染、政府治理与经济高质量发展 [J]. 经济研究, 2018, 53 (2): 20-34.
- [17] 金刚, 沈坤荣. 以邻为壑还是以邻为伴?: 环境规制执行互动与城市生产率增长 [J]. 管理世界, 2018, 34 (12): 43-55.
- [18] 董直庆, 王辉. 环境规制的“本地-邻地”绿色技术进步效应 [J]. 中国工业经济, 2019 (1): 100-118.

- [19] MANSKI F. Identification of endogenous social effects: the reflection problem [J]. Review of economic studies, 2000, 60 (3): 531-542.
- [20] 邓慧慧, 赵家羚. 地方政府经济决策中的同群效应 [J]. 中国工业经济, 2018 (4): 59-78.
- [21] 石磊, 陈乐一, 李玉双. 区域经济增长的同群效应: 来自中国城市数据的经验证据 [J]. 地理研究, 2020, 39 (4): 853-864.
- [22] 王旭, 褚旭. 制造业企业绿色技术创新的同群效应研究: 基于多层次情境的参照作用 [J]. 南开管理评论, 2021, 25 (2): 68-81.
- [23] 张艳, 方怡文. 企业绿色技术创新的策略选择: 来自地区同群效应的经验证据 [J]. 商业研究, 2022 (5): 58-69.
- [24] 李胜兰, 初善冰, 申晨. 地方政府竞争、环境规制与区域生态效率 [J]. 世界经济, 2014, 37 (4): 88-110.
- [25] LEE L, LIU X, LIN X. Specification and estimation of social interaction models with network structure [J]. The econometrics journal, 2010, 13 (2): 145-176.
- [26] 王海龙, 连晓宇, 林德明. 绿色技术创新效率对区域绿色增长绩效的影响实证分析 [J]. 科学学与科学技术管理, 2016, 37 (6): 80-87.
- [27] 曹霞, 于娟. 绿色低碳视角下中国区域创新效率研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25 (5): 10-19.
- [28] 孙燕铭, 湛思邈. 长三角区域绿色技术创新效率的时空演化格局及驱动因素 [J]. 地理研究, 2021, 40 (10): 2743-2759.
- [29] 吕岩威, 谢雁翔, 楼贤骏. 中国区域绿色创新效率时空跃迁及收敛趋势研究 [J]. 数量经济技术经济研究, 2020, 37 (5): 78-97.
- [30] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis [J]. European journal of operational research, 2001, 130 (3): 498-509.

## A Study of the Peer Effect and Formation Mechanism of Regional Green Innovation in China

Xiao Yanfei, Zhang Baoli, Hu Litao

**Abstract:** How to achieve green innovation and promote it in a coordinated manner is a major issue in achieving high-quality development. Using the peer theory to explain the catch-up behavior of inter-regional green innovation and selecting the panel data of 31 provincial regions in China from 2004 to 2019, by the use of spatial econometric model and from the perspective of social interaction, the motivation and incentive mechanism of local governments to implement environmental policies are tested. The research results show that there exists a significant regional green innovation peer effect in China, and has the characteristics of “geographical proximity” strong effect and “economic proximity” weak effect. The conclusion is still valid through the endogeneity and other robustness tests, which means when the local governments execute environmental regulatory decisions, they are more likely to choose “neighbors” rather than the “good” to imitate. Both “competitive imitation” (environmental governance) and “learning imitation” (human capital) have strengthened the peer effect, but they are more significant in “geographical proximity”, while weak in “economic proximity”, indicating that regional environmental decision-making is more of a geographic homogeneity behavior, and the “leader-follower” peer mechanism has not yet played its due role. Accordingly, building a coordinated regional development system and a green innovation assessment system, and establishing an inter-regional green innovation learning and catching up mechanism are the focuses of policy implementation.

**Keywords:** regional green innovation; peer effect; competitive imitation mechanism; learning imitation mechanism

(收稿日期: 2022-10-26; 责任编辑: 晏小敏)