

碳规制对资源型城市绿色创新的影响研究

——基于资源型城市与非资源型城市的对比分析

罗艳*, 谢欣宇†

内容摘要: 绿色创新是推动城市低碳转型的关键, 环境规制已成为影响绿色创新的重要因素。文章聚焦于碳规制这一视域, 基于“十二五”、“十三五”时期中国 276 个地级市的面板数据, 将其划分为资源型和非资源型城市, 实证研究了碳规制对城市绿色创新的影响。研究发现, 碳规制可以促进绿色创新, 碳规制对非资源型城市绿色创新的正向作用大于资源型城市。异质性检验表明, 碳规制对煤炭型和石油型资源城市具有显著的正向作用, 对不同发展阶段的资源型城市均有正向影响但大小不同。促进效应分析表明, 提高数字经济水平、交通基础设施水平和市场化程度可以促进碳规制对资源型城市绿色创新的正向作用。地方政府应该建立完善的碳规制约束体系, 提高数字经济水平, 加快交通基础设施建设, 提高市场化程度。

关键词: 碳规制; 城市绿色创新; 资源型城市; 促进效应

一、引言

资源型城市是以本地区矿产、森林等自然资源开采、加工为主导产业的城市,《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)》(以下简称“《规划》”)指出,资源型城市作为我国重要的能源资源战略保障基地,是国民经济持续健康发展的重要支撑。长期以来,资源型城市高度依赖资源开采与加工,随着资源开采的长期推进,环境污染、生态破坏、失业激增、经济衰退等一系列问题不断涌现,甚至出现“矿竭城衰”的现象,严重制约着资源型城市的可持续发展。资源型城市可持续发展的困境在于对自然资源的重度依赖,相关研究已经证实了“资源诅咒”即丰富的自然资源反而会拖累经济发展这一现象的存在。(李江龙和徐斌,2018)⁰如何摆脱对资源的依赖,实现绿色转型是资源型城市可持续发展的必由之路。党的二十大报告指出,要完善科技创新体系,加快实现创新驱动发展战略,坚持创新在我国现代化建设全局中的核心地位。《关于进一步完善市场导向的绿色技术创新体系实施方案(2023—2025年)》指出要进一步完善绿色技术创新体系,充分发挥绿色技术创新对绿色低碳发展的支撑作用。绿色技术创新对资源型城市摆脱资源依赖,实现低碳

* 罗艳, 经济学博士, 广西师范大学讲师, 主要从事区域经济学、环境经济学研究

† 谢欣宇(通讯作者): 广西师范大学硕士研究生, 主要从事区域经济学研究, 联系方式 xxy13554573641@163.com。

转型具有重大现实意义。伴随着我国节能减排工作的持续推进与双碳目标的提出，环境规制逐渐成为影响经济活动的重要因素，碳规制作为环境规制的一部分，也将直接或间接影响绿色创新水平，对资源型城市的碳规制、绿色创新进行研究具有重要的实际意义。

目前，学术界对绿色创新的研究主要分为两类，一类是如何解释绿色创新，部分学者基于指标体系、效率评价等方法，对绿色创新进行了测度，诸多文献采用 R&D 支出⁰（蒋伏心等，2013）、绿色专利数量⁰（陶锋等，2021；李思慧，2023）等指标；另一类是如何推动绿色创新，部分学者对绿色创新的影响因素进行了探讨，研究发现环境规制⁰（李青原等，2022）、FDI 和企业规模⁰（蒋伏心等，2013）等会对绿色创新产生影响。由于绿色创新是一项高风险、高投入的活动，其存在的外部性和路径依赖，需要环境政策的约束和引导，环境规制成为影响绿色技术创新的重要因素^{错误!未找到引用源。}（孔东民和石政，2022）。

现有文献较少研究碳规制，本文的碳规制是指上级政府下达至各级政府的降碳目标。部分学者（朱于珂等，2022；余泳泽等，2020；李媛等，2020）从这种减排目标出发，对绿色创新^{错误!未找到引用源。}、产业升级^{错误!未找到引用源。}、经济增长^{错误!未找到引用源。}等方面进行了相关研究。大多文献都将这种减排目标或地方环境目标约束视为环境规制，探究环境规制对绿色创新的影响。主要观点大致分为三种：一是围绕“波特假说”展开，认为适宜的环境规制能够带来“创新补偿”效应⁰（Porter，1991）。企业面临环境规制时，会加大创新投入，使创新带来的收益补偿应对环境规制的成本，从而倒逼企业创新。如李思慧（2023）发现环境规制可以通过增加研发投入来促进城市绿色创新⁰；余泳泽和林彬彬（2022）发现约束性较强的减排目标会显著提升企业的技术创新水平，并且偏向性减排目标分配进一步强化了“中国式波特假说”的存在性^{错误!未找到引用源。}；二是遵循新古典主义的“成本理论”，认为政府环境规制会使企业面临环境治理的高成本，减少技术创新投入，直接限制创新活动。刘志铭等（2022）发现环境规制会通过减少企业利润、增加固定资产投资抑制绿色创新^{错误!未找到引用源。}。张彩云和吕越（2018）认为绿色生产规制会使企业购买新的职务设备、生产设备来达到清洁生产标准，从而抑制企业研发创新^{错误!未找到引用源。}。三是环境规制与创新之间存在“U”型或倒“U”型的非线性关系，由于变量衡量标准、时间、地区的差异性，两者关系也存在异质性。如李青原和肖泽华（2020）认为排污收费倒逼了企业绿色创新能力，而环保补助却挤出了企业绿色创新能力⁰；张娟等（2019）发现环境规制对环境规制对绿色技术创新产出的影响呈现“U”型关系的结论，且滞后一期的影响显著^{错误!未找到引用源。}。

关于资源型城市的研究，大多从资源禀赋是经济发展的“福音”还是“诅咒”两种相悖的观点出发，探究资源禀赋对经济活动的影响。邵帅和齐中英（2008）、李江龙和徐斌（2018）等证实了自然资源丰裕地区存在着明显的“资源诅咒”现象^{错误!未找到引用源。}；刘宝汉（2011）、方颖等（2011）则得出了不同的结论^{错误!未找到引用源。}。目前，环境规制对资源型城市的影响研究主要集中于资源型城市产业结构⁰、李虹和邹庆，2018）、就业^[20]（陈平和罗艳，2021）、经济增长⁰（张娟，2017）等。

综上，已有研究关于环境规制与资源型城市绿色创新的研究取得了丰富的成果，但仍存在以下不足：第一，大多文献较多关注环境规制政策的异质性，鲜少研究碳规制。在实现碳达峰、碳中和的双碳目标背景下，研究碳规制具有重大现实意义。第二，已有文献主要关注环境规制对资源型城市产业结构转型升级、经济增长、就业等产生的影响，较少研究环境规制对资源型城市绿色创新。绿色创新是促进资源型城市摆脱资源依赖，实现低碳转型的关键因素，研究资源型城市绿色创新能够为低碳转型提供理论与经验支持。第三，已有文献较少从资源型城市与非资源型城市对比这一角度来探讨环境规制对绿色创新的影响，缺少相关异质性分析。碳规制是否能够倒逼资源型城市绿色创新发展？在不同类型的资源型城市，这种倒逼作用是否存在不同的影响？资源型与非资源型城市在研究结论上是否存在差异？不同地区的发展水平是否会对这种倒逼作用产生不同的促进效应？基于此，本文根据《规划》划分标准，最终选取了 110 个资源型城市作为研究样本、深入剖析碳规制对城市绿色创新的影响，同时引入 166 个非资源型城市作为对照组，采用“十二五”、“十三五”时期 276 个城市的面板数据进行对比分析，得出更具价值的研究结论，以期为促进资源型城市绿色创新、实现低碳转型提供依据。

本文可能的边际贡献在于：(1) 从研究视角看，基于双碳目标背景，将环境规制聚焦于碳规制，探讨碳规制对资源型城市绿色创新的影响，从而明晰资源型城市碳规制与绿色创新的未来发展方向，丰富关于环境规制、绿色创新与资源型城市的理论研究。(2) 从研究对象看，以资源型城市为主要研究对象，并且将非资源型城市作为对照组，进行对比分析，同时进一步强化不同类型资源型城市的异质性探讨，为碳规制如何因地制宜推进提供实践依据。(3) 从实证策略看，揭示不同的经济变量发展水平下碳规制对绿色创新的影响效果，探讨数字经济水平、交通基础设施、市场化程度的提升是否对碳规制与绿色创新的关系具有促进效应，为合理设置碳规制与加快提升绿色创新水平创造有利外部条件提供理论支撑与实践依据。

二、理论分析与研究假说

(一) 碳规制对城市绿色创新的影响分析

自“十一五”以来，中央政府设定了二氧化硫、化学需氧量等主要污染物的减排指标，并且将这些指标分解至全国各省份、地级市，同时将节能减排目标完成情况纳入各地经济社会发展综合评价体系，由此形成了具有中国特色的环境规制制度设计。2011 年，中央出台《“十二五”控制温室气体排放工作方案》，首次对二氧化碳排放量提出目标要求，碳规制作为一种非市场干预手段，在降低碳排放，解决环境污染问题的同时，在促进企业节能减排、经济社会绿色发展方面会发挥一定积极作用。资源型城市发展长期以来依靠自然资源，以第二产业为主的产业结构和化石能源为主的能源结构，使得其面临的碳排放和生态破坏问题更为严重，进行低碳转型、绿色发展也面临着巨大的挑战。碳规制必然会对微观企业的生存与发展和社会各层面产生冲击^{错误!未找到引用源。}（余泳泽和林彬彬，2022），影响资源型城市的绿色创新。

碳规制对绿色创新的影响，主要体现在以下几个方面：

1、治污技术和绿色生产工艺进步

当地政府在碳规制的压力下，会主动实施各类规制政策对企业的生产经营活动进行外部性约束，首先会严格限制企业的污染排放，这将提高企业的治理污染成本，为了追求利润最大化，企业通常会采用两种方式进行污染控制，一是排放污染物后，企业投入一定的资源来治理污染，从而控制污染水平达到政府要求，在这种方式下，企业的治污技术得到进步⁰；（蒋伏心等，2013）二是企业通过创新改进生产技术，提高企业的生产水平。创新是一项高风险、高投入的经济活动，碳规制可能会使企业面临额外的环境治理成本，考虑到环境治理成本的长期性，大多数企业会选择通过增加环保研发投入提升清洁生产技术，通过绿色创新改进生产工艺，走转型升级道路，提高生产效率，最终抵消环境规制给企业增加的环境成本乃至产生额外利润⁰（Milani Sahar，2017）。

2、市场竞争效应

中国区域发展不平衡，各级政府考虑到地区之间在经济发展水平、资源禀赋、创新能力等方面存在的差异性，降碳目标也存在一定的偏向性，这种偏向导致各个地区碳规制强度与政策存在差异。在严格的碳规制下，一部分高污染、高能耗的企业难以承受环境治理的成本压力，导致企业在原有市场失去竞争力⁰（蒋伏心等，2013），向碳规制强度较低的城市转移，企业的转移又会加剧转入地的市场竞争程度，转入地企业不得不开展绿色创新活动以提升竞争力，促进城市绿色创新^{错误!未找到引用源。}。（欧阳晓灵等，2022）此外，碳规制会导致当地的新型低污染绿色产品市场中更受青睐，从而倒逼企业生产绿色产品来抢占市场份额，获得新的利润增长点，这种利润追逐效应能够促进绿色创新^[24]。（赵明亮等，2023）

3、社会各层面的支持

“双碳”目标的提出与碳减排目标加强了社会对低碳环保问题的关注度，在碳规制与社会舆论监督的双重压力下，企业加强绿色创新，减少污染排放，积极履行社会责任，能树立良好的企业形象。企业为了实现长期的经济效益，兼顾企业绩效与社会价值，必须主动适应绿色发展趋势，主动追求绿色创新。消费者对于低碳绿色发展概念的理解与认同，会增强其购买绿色创新产品的意愿，在一定程度上接受绿色产品的溢价，进一步扩大了绿色创新给企业带来的利润空间⁰（李思慧，2023）。政府会通过一系列优惠政策政策对企业绿色创新进行引导和支持，向市场传递积极的政策扶持信号，激励企业绿色创新。此外，随着社会对碳排放相关问题的关注，更多的高校、科研机构会将创新资源投入到与低碳环保相关的领域⁰（陶锋等，2021），促进城市绿色创新的发展。在碳规制的促进下，社会各层面将主动适应绿色发展趋势，追求绿色创新。

基于以上理论分析，本文提出以下假说：

假说 1：碳规制对资源型城市绿色创新具有正向效应。

（二）碳规制影响城市绿色创新的促进效应分析

受资源禀赋、交通基础设施、产业发展等诸多因素的影响，中国各个地区的发展水平呈现显著的时空分异特征。碳规制对城市绿色创新的带动作用可能在数字经济水平、基础设施水平和市场化程度较低的地方遇到瓶颈，而在发展水平较高的城市具有促进作用。鉴于此，本文接下来探究数字经济水平、交通基础设施、市场化程度对碳规制与绿色创新关系可能存在的促进效应。

1、数字经济水平

中国经济进入新常态，数字经济作为经济发展中最为活跃的领域，能够优化资源配置，增强创新能力，培育经济发展新动能。相关研究表明数字经济不仅能够直接促进绿色创新的“增量提质”，并且在环境规制与绿色创新之间存在显著的正向调节作用。⁰（朱于珂等，2022；李平和方健，2023）。首先，数字经济有利于降低信息搜集、传递成本，促进资源的合理配置，优化企业生产要素组合，能够为企业内部提供良好的绿色创新环境。其次，数字经济时代，企业的信息与行为更加透明，网络和社交媒体的发展会给企业带来更多的舆论压力和关注程度，进而对企业绿色创新产生激励；再次，政府可以通过数字信息技术快速高效的获取企业生产碳排放动态与信息，对企业进行实时精细化监管与政策帮助，提高政府的监管效率与透明度。因此，数字经济能够正向调节碳规制对绿色创新的影响。

2、交通基础设施

完善的交通基础设施能够降低运输成本，提高空间可达性，是影响地区经济发展的重要因素。一方面，交通基础设施的完善能够降低生产、销售的运输成本，为企业带来更大的利润空间，增加研发投入，促进创新；新经济地理学表明，交通基础设施完善有助于区域内要素流动，重塑经济活动空间布局，实现创新要素的自由流动，从而对创新活动产生重要影响⁰（诸竹君，2019）；发达的交通网络，会增加城市的人流、物流与信息流，增加城市的人力资本积累，提高市场潜力，促进经济增长，进而影响城市绿色创新^[27]（雷淑珍等，2021）。另一方面，交通基础设施规模越大，交通工具数量越多，意味着城市污染排放越多，对环境会产生负面影响，相应的环境规制强度越高，从而影响倒逼绿色创新的效果。

3、市场化程度

较高的市场化程度能够优化资源配置，促进市场竞争与合作⁰（邹伟勇，2023），是绿色创新的推动力量之一。发达的市场意味着较为成熟的要素市场，能够加快生产要素的合理流动与优化组合，提高市场资源配置效率，激发生产者积极性，有效推进绿色创新。在市场化程度较高的城市，创新要素流动快，对知识产权的保护力度越大，能够有效保障企业进行绿色创新。相反，在不健全的市场机制下，信息透明度较低，信息不对称，容易导致资源错配、过度使用⁰（张琳琳，2023），还会产生寻租和机会主义等行为，不利于城市绿色创新的发展。较高的市场化程度能够强化碳规制对绿色创新的促进作用。

基于以上分析，提出以下假说：

假说 2：提高数字经济水平、交通基础设施和市场化程度可以促进碳规制对资源型城市绿色创新的正向效应。

3、 研究设计

(一) 基准回归模型

为检验碳规制是否能够促进资源型城市绿色创新，本研究基于 110 个资源型城市 2011—2020 年的面板数据，构建以下基准回归模型：

$$CGI_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 CO2_{it} + \alpha_2 Controls_{it} + d_i + d_u + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中： CGI_{it} 表示城市绿色创新， $CO2_{it}$ 表示碳规制， $controls$ 表示一系列控制变量， i 与 t 分别表示城市与年份， d_i 、 d_u 分别表示时间固定效应与个体固定效应， ε_{it} 表示随机扰动项。

(二) 变量设置与数据说明

1、 被解释变量

本文的被解释变量为城市绿色创新水平（ CGI_{it} ）。绿色创新的衡量标准丰富多样，部分学者基于指标体系、效率评价等方法，对绿色创新进行了测度，诸多文献采用 R&D 支出⁰（蒋伏心等，2013）、绿色专利数量⁰（陶锋等，2021）等指标来解释绿色创新。目前学术界较为统一的衡量指标为绿色专利，绿色专利是指以绿色技术为发明主题的发明、实用新型和外观设计专利。专利数据中涵盖了技术领域类别，有利于识别出以绿色技术为目标的绿色专利，随着专利数据的可得性以及专利信息的深入挖掘，绿色专利数据成为衡量绿色创新的关键指标。本研究参考朱于珂^{错误!未找到引用源。}（2022）、陶锋等^{错误!未找到引用源。}（2021）的做法，利用 WIPO 的国际专利分类绿色清单，对来源于国家知识产权数据库的专利进行搜集，整理了 2011—2020 年中国各地级市绿色专利申请数量，并进行取对数处理，来作为城市绿色创新的代理变量。同时，为了增强结果稳健性，将各城市 2011—2020 年绿色实用新型专利申请量和绿色发明专利申请量作为城市绿色创新水平的另一代理变量。

2、 核心解释变量

本文的核心解释变量为碳规制（ $CO2_{it}$ ）。“十一五”规划后，中央向地方政府下达层层分解的减排目标，余泳泽和林彬彬^{错误!未找到引用源。}（2022）通过收集整理各地级市各年份的《政府工作报告》，手工提取了各地级市各年的二氧化硫、化学需氧量减排约束目标。本研究参考该学者的做法，通过各政府“十二五、十三五”工作报告，手工搜集了各地区分解至下级政府的单位国内生产总值二氧化碳排放下降目标，作为本文的核心解释变量。降碳指标数据均来自各政府“十二五、十三五”时期关于二氧化碳排放的政府文件。由于部分省份并未公布分配给各地级市的降碳指标，本文用中央分配给各省的指标加以衡量。

3、 控制变量

为减少其他因素对绿色创新的影响，本研究参考欧阳晓灵^{错误!未找到引用源。}等（2022）、余泳泽和林彬彬（2022）^{错误!未找到引用源。}、朱于珂等^{错误!未找到引用源。}（2022）、李思慧（2023）⁰等学者的做法，选取如下控制变量：(1)经济发展水平（PGDP）。已有研究表明经济发展水平越高，创新活动越活跃。本文采用各城市人均 GDP，并进行取对数处理来表示经济发展水平。(2)外商直接投资（FDI）。创新活动存在明显的知识流动与溢出现象，外商直接投资能够通过技

术转移与知识溢出来影响城市的绿色创新水平。本文采取各城市实际使用外资总额占当地GDP的比重来衡量，并且加1取对数来作为代理变量。(3)资源禀赋(RE)。资源禀赋条件越好的城市可能过分依赖资源，存在“资源诅咒”现象，从而影响绿色创新水平。本文采用采掘业从业人员占年末就业总人数的比重并加1取对数处理来衡量资源禀赋。(4)人力资本(HC)。人力资本水平是影响创新活动的重要因素，高水平的研发人员越多，城市创新活动越活跃。本文采取各城市科学研究从业人员占当年年末就业人员的比重，并加1取对数来作为人力资本的代理变量。(5)产业结构(IS)。已有研究发现产业结构升级是促进创新的重要因素。本文采用第三产业增加值占GDP的比重来衡量产业结构。

本文选取了“十二五、十三五”时期的各项数据，统计年份为2011—2020年，各项数据指标来源于国家知识产权局、EPS中国城市数据库、中国经济社会大数据研究平台、国家统计局、各城市统计局等。删除了部分数据缺失严重的城市，对部分缺失的数据采用线性插值法进行补齐，各变量的描述性统计结果如表1所示。

表1：变量描述性统计

variable	N	mean	sd	min	max
CGI	1100	4.536	1.236	0	8.239
CO2	1100	17.88	1.618	10	22
PGDP	1100	5.985	0.982	0	6.973
FDI	1100	1.008	0.0480	0.996	1.541
HC	1100	1.014	0.0100	0.966	1.091
IS	1100	15.06	244.3	0	4718
DE	1100	10.09	1.166	0.697	20.08
IL	1100	17.45	8.406	1.370	84.33
MO	1100	0.220	0.0940	0.00800	0.675

4、实证结果分析

(一) 基准回归结果

本研究采用时间地区双固定效应模型对公式(1)进行基准回归，回归结果如表2所示。其中，列(1)为资源型城市碳规制对城市绿色创新的基准回归结果，列(3)是非资源型城市基准回归结果，列(2)、(4)是加入一系列控制变量后的回归结果。

表2：基准回归结果

variable	CGI			
	资源型城市		非资源型城市	
	(1)	(2)	(3)	(4)
CO2	0.308*** (0.021)	0.281*** (0.024)	0.341*** (0.016)	0.335*** (0.018)
PGDP		0.097*** (0.036)		-0.002 (0.039)
FDI		-2.006*** (0.672)		-0.008 (0.006)
RE		-0.975*** (0.334)		-7.646*** (1.796)

HC		18.615*** (3.202)		0.027 (0.036)
IS		-0.000** (0.000)		-0.001* (0.000)
_cons	-0.973** (0.382)	-17.796*** (3.411)	-0.511* (0.296)	-0.308 (0.442)
控制变量	NO	Yes	NO	Yes
个体固定	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量N	1100	1100	1660	1660
R ²	0.1615	0.2075	0.2114	0.2179

表 2 回归结果显示，碳规制对城市绿色创新的估计系数显著为正，这一结果无论是在资源型城市，还是非资源型城市都十分显著，在加入一系列控制变量后，该结论依旧成立。列（2）中显示资源型城市的估计系数为 0.281，列（4）中显示非资源型城市的估计系数为 0.335，对比回归系数可以发现，碳规制对城市绿色创新的促进作用在非资源型城市更加明显。探究其原因可能在于资源型城市经济发展长期以来依赖资源开采，创新积累能力较弱；此外，资源型城市第二产业占比较大，传统重工业转型升级难度较大，绿色创新面临的阻碍较多。综上所述，碳规制对城市绿色创新具有正向效应，假说 1 得以验证。

（二）稳健性检验

为验证本文回归结果的可靠性，文章主要从替换被解释变量、更换计量模型、排除政策干扰三个方面对碳规制影响资源型城市绿色创新的基准回归结果进行稳健性检验。①替换被解释变量：将绿色专利申请量替换为绿色发明专利申请数量、绿色实用新型专利申请数量，并进行取对数处理，检验替换被解释变量后基准回归结果的稳健性，如表 3 列（1）、（2）所示。②更换计量模型：系统 GMM 可以考虑到碳规制影响资源型城市绿色创新的滞后性，从而使参数估计更有效，回归结果如表 3 列（3）所示。③排除政策干扰：已有研究表明低碳城市试点政策能够如今城市绿色创新，为排除这一政策的干扰，本研究将当年实施低碳试点政策的城市样本剔除，进行检验。回归结果如表 3 列（4）所示，碳规制与资源型城市绿色创新依然存在显著的正向相关关系。回归结果与基准回归基本一致，表明基准回归结论具有稳健性。

表 3：稳健性检验

variable	CGI			
	(1)	(2)	(3)	(4)
CO2	0.255*** (0.026)	0.306*** (0.024)	0.194*** (0.064)	0.286*** (0.027)
_cons	-21.918*** (3.753)	-16.581*** (3.456)	-92.724 (58.770)	-16.413*** (3.676)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
个体固定	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量N	1100	1100	770	751
AR ² (P)			0.659	
R ²	0.1713	0.2166		0.2306

(三) 内生性检验

虽然在上文中通过更换被解释变量、替换计量模型和排除政策干扰三个方面进行了稳健性检验，验证了本文基准回归结果的可靠性，但碳规制与资源型城市绿色创新之间可能存在逆向因果关系，从而对本文的研究结果产生一定的偏差。

政府在降碳目标之前，也会考虑到当地经济发展的多重因素，城市绿色创新水平也会影响地方政府碳规制政策的制定，计量模型可能存在互为因果关系导致的内生性问题。同时，模型也可能存在遗漏变量的问题，导致估计结果产生偏误。为解决内生性和遗漏变量带来的问题，需要寻找合适的工具变量。本文参考余泳泽和林彬彬^{错误!未找到引用源。}（2022）、邹伟勇^{错误!未找到引用源。}（2023）、董直庆和王辉⁰（2019）等学者的方法，从自然地理角度出发选取降水量、空气流通系数和城市平均风速作为环境规制的工具变量，来缓解模型可能存在的内生性问题。降水量、空气流通系数和城市平均风速越大的地区，碳排放浓度与空气污染越少，地方政府确定的降碳指标越低；同时，三者都是一种自然现象，并不受地区经济发展与创新水平的影响，具有明显的外生性。因此，上述工具变量的选取均符合相关性^{错误!未找到引用源。}与外生性假设要求。在估计时，参考余泳泽和林彬彬^{错误!未找到引用源。}（2022）研究中工具变量的设置方法，通过构造降水量、空气流通速度和城市平均风速与碳减排目标的交互项，作为碳规制的工具变量。表 4 汇报了工具变量的回归结果。列（1）至列（3）分别表示了以降水量（Rain）、空气流通系数（VC）和城市平均风速（AWS）等变量作为工具变量的回归结果。在第一阶段回归中，F 统计值均大于 10，第一阶段 Kleibergen-Paap rk Wald F（简称 RKF 检验）统计量均明显大于 Stock 和 Yogo(2002)审定的 F 值在 10%偏误水平下的 16.39 的临界值，说明不存在“弱工具变量”，本文工具变量的构造是有效的。CO₂ 的估计系数分别为 0.352、0.279、0.446，且均通过了 1%的显著性水平检验，在降低模型内生性后，本文的基准回归结果依旧成立，碳规制对资源型城市绿色创新具有显著的正向效应。

表 4：工具变量回归结果

variable	CGI		
	(1) Rain	(2) VC	(3) AWS
CO ₂	0.352*** (0.102)	0.279*** (0.070)	0.446*** (0.062)
控制变量	Yes	Yes	Yes
个体固定	Yes	Yes	Yes
时间固定	Yes	Yes	Yes
样本量N	1100	1100	1100
第一阶段回归结果			
<i>IV</i>	40.644***	0.138***	0.090***
<i>F</i> 统计量	25.540	9279.440	86.590

(四) 异质性检验

不同类型与发展阶段的资源型城市在环境规制强度、政策执行、监管力度存在较大差距，那么，碳规制对资源型城市绿色创新的影响是否会城市类型与发展阶段的不同而呈现差异化的效果？本部分将从资源型城市的资源类型、不同成长周期分析异质性影响。

1、不同资源类型的资源型城市

资源型城市的发展离不开自然资源的供给，不同资源种类的资源型城市其发展存在着明显的异质性。本研究根据《我国资源型城市经济结构转型研究》错误!未找到引用源。这一课题研究内容，按照资源类型分为煤炭型、有色金属型、黑色冶金型、石油型和森工型五大类，进行异质性分析。结果如表 5 所示，碳规制对城市绿色创新的促进作用在煤炭型与石油型资源型城市显著为正，且煤炭型影响系数为 0.624，通过了 1%水平的显著性检验，在其他资源种类的城市的促进作用为正但并不明显。可能的原因在于煤炭和石油类城市是工业发展的重要资源，碳排放量多，是产业绿色升级的源头，是政府实行碳规制的重点。

表 5：不同资源种类城市

variable	CGI				
	(1) 煤炭	(2) 有色金属	(3) 黑色冶金	(4) 石油	(5) 森工
CO2	0.624*** (0.066)	0.130 (0.145)	0.046 (0.114)	0.112* (0.057)	0.302 (0.517)
_cons	-66.399* (37.547)	4.696 (26.743)	-208.611*** (19.443)	45.582** (17.312)	35.650 (127.002)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
个体固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量N	261	36	36	36	36
R ²	0.3961	0.7695	0.9044	0.8556	0.2034

2、不同成长周期的资源型城市

资源型城市数量众多，资源开发处于不同的发展阶段，经济社会发展水平差异较大，面临的矛盾和问题也存在较大差异。本研究按照《规划》划分的四种类型，对不同周期的资源型城市进行异质性分析。《规划》根据资源保障能力和可持续发展能力差异，将资源型城市分为成长型、成熟型、衰退型和再生型四种类型。表 5 为不同成长周期城市碳规制影响绿色创新的回归结果，结果显示碳规制对四类城市的绿色创新均具有显著的正向影响，其中，对衰退型资源型城市的影响系数最大，为 0.592，其次是成长型、再生型城市，对成熟型城市的影响最小。可能的原因在于，衰退型城市资源趋于枯竭，经济发展缺乏动力，生态环境破坏严重，各类经济问题突出，政府在推进碳规制过程中，会加大对落后产业的政策支持力度，大力扶持接续替代产业发展，加快绿色创新，逐步增加城市的可持续发展能力；成长型城市经济发展以资源开发为主，工业占比较多，二氧化碳排放量较多，碳规制更具有针对性；再生型城市已经基本摆脱了资源依赖，经济发展逐渐步入良性发展轨道，为碳规制倒逼绿色创新提供了良好的经济条件和外部环境；成熟型城市处于资源开采稳定阶段，城市发展仍主要依靠自然资源，创新动力较小。

表 6：不同成长周期城市

variable	CGI			
	(1) 成长型	(2) 成熟型	(3) 衰退型	(4) 再生型
CO2	0.437*** (0.094)	0.151*** (0.022)	0.592*** (0.070)	0.381*** (0.076)

_cons	-272.946*** (60.824)	-14.689*** (3.136)	-55.179 (43.867)	-46.245* (26.114)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
个体固定	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量N	130	600	230	140
R ²	0.3068	0.2868	0.4582	0.3473

5、 进一步分析：促进效应分析

本部分重点研究碳规制与资源型城市绿色创新的促进效应，分别揭示在不同金融发展水平、产业结构水平和对外开放水平下，碳规制对城市绿色创新的影响作用，构建以下模型进行检验：

$$CGI_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 CO2_{it} + \alpha_2 CO2_{it} \times M_{it} + \alpha_3 Controls_{it} + d_i + d_u + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中，M 表示数字经济水平、基础设施水平、市场化程度其他变量与前文一致。其中，交互项的系数 α_3 是本部分的关注重点，即在不同的数字经济水平、基础设施水平、市场化程度下，碳规制对城市绿色创新的影响。本部分的回归结构如表 8 所示。

(一) 数字经济促进效应

数字经济可以增加企业环境信息披露，激励企业绿色创新，同时优化政府的环境监管与政策执行效率，碳规制对城市绿色创新的正向效应可能在数字经济水平更高的城市得以更好的发挥。参考赵涛等^{错误!未找到引用源。}（2020）的方法，选取互联网普及率、互联网相关从业人员情况、互联网相关产出情况和数字金融普惠发展指数四个指标，通过主成分分析法，计算出数字经济指数（DE）。表 8 列（1）、列（4）检验了在不同的数字经济水平下，碳规制对资源型与非资源型城市绿色创新的影响：结果显示碳规制与数字经济的交互项影响系数分别为 0.006，0.035，并且通过了 1%水平的显著性检验，表明数字经济可以强化碳规制对城市绿色创新的正向作用，随着数字经济水平的提高，政府可以借助数字化进行更有效的监管，企业可以凭借成熟的信息技术开展绿色创新活动，碳规制对城市绿色创新的正向作用得到了加强。因此，现阶段资源型城市与非资源型城市要加快数字经济发展，加大对数字经济的支持建设力度，为城市绿色创新活动提供良好的数字化水平。

(二) 交通基础设施促进效应

交通基础设施是影响创新的重要因素之一，参考邓明^{错误!未找到引用源。}（2014）的方法，采用城市人均道路面积来衡量交通基础设施水平（IL）。交通基础设施的促进效应回归结构如表 8 列（2）、列（5）所示，结果表明，碳规制与交通基础设施的交互项对绿色创新的影响系数在资源型城市显著为正，在非资源型城市为正，但并不显著，说明在资源型城市的交通基础设施越完善，碳规制对绿色创新的正向作用越明显。可能的原因在于资源型城市自然资源丰富，资源开采与传统重工业较多，这些产业需要发达的交通运输，资源型城市交通基础设施相较于非资源型城市更完善，从而强化了碳规制对城市绿色创新的促进效应。

(三) 市场化促进效应

市场化水平是衡量经济发展水平的重要指标，也是影响创新的重要因素。参考史丹^{错误!未找到引用源。}等（2023）的做法，本研究采用政府财政支出占 GDP 的比重衡量城市市场化程度，数值越大则表明市场化程度越低，数值越小，表明市场化程度越高。表 8 列（3）、列（6）分别检验了不同市场化程度下，碳规制对资源型城市和非资源型城市绿色创新的影响。碳规制与市场化程度的交互项影响系数分别为-0.384、-0.506，并且通过 1%水平的显著性检验，表明随着市场化水平的提升，碳规制对城市绿色创新的带动作用得到促进，但资源型城市促进作用小于非资源型城市。究其原因，资源开采与加工行业具有自然垄断色彩，以行政力量为主导、国企经营为主体是资源型城市普遍存在的经济运行模式^{错误!未找到引用源。}（杨桐彬，2020），由此市场化水平提升受到制约，促进作用较非资源型城市较小。

表 7：促进效应分析

variable	CGI					
	资源型城市			非资源型城市		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
CO2	0.220*** (0.031)	0.237*** (0.023)	0.214*** (0.021)	-0.098*** (0.025)	0.330*** (0.019)	0.303*** (0.016)
CO2*DE	0.006*** (0.002)			0.035*** (0.002)		
CO2*IL		0.003*** (0.000)			0.000 (0.000)	
CO2*MO			-0.384*** (0.020)			-0.506*** (0.027)
_CONS	-16.630*** (3.416)	-16.990*** (3.166)	-6.364** (2.952)	0.589 (0.386)	-0.297 (0.442)	2.605*** (0.427)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
个体固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量N	1100	1100	1100	1660	1660	Yes
R ²	0.2154	0.3179	0.4304	0.4135	0.2182	0.3663

6、 结论与对策建议

（一）主要结论

资源型城市是国民经济持续健康发展的重要支撑，也是推进节能减排、发展绿色经济的关键地区。在既要“金山银山”，又要“绿水青山”双赢的新形势下，实现双碳目标，政府加强碳规制，促进绿色创新，帮助资源型城市低碳转型是实现经济高质量发展的内在要求。文章基于具有中国特色的环保目标责任制，从地方政府工作报告中手工搜集“十二五”、“十三五”时期分解至各地级市的碳减排目标作为碳规制的代理变量，同时通过资源型城市和非资源型城市的对比分析，探讨碳规制与城市绿色创新二者之间的关系。利用中国 2011—2020 年 110 个资源型城市的相关数据，实证检验碳规制与城市绿色创新之间存在的关系。研究发现：①碳规制对城市绿色创新具有显著的正向促进作用，这一结论在经过一系列稳健性检验后依旧成立。但这一促进作用在非资源型城市更加明显。②在异质性方面，在资源类型上，碳规制对煤炭型和石油型资源城市具有显著的正向效应；在城市成长周期

上，碳规制都存在积极影响，影响大小依次为衰退型、成长型、再生型和成熟型城市。^③促进效应分析表明，随着资源型城市数字经济水平、交通基础设施水平和市场化程度的提升，碳规制对绿色创新的正向影响不断增强。基于本文以上研究结果，提出如下政策建议。

(二) 政策建议

第一，建立完善的碳规制约束体系。目前，本文所研究的碳规制主要是指地方政府的降碳目标约束，要完善从中央到地方层层分解的目标约束体系，建立科学的分析系统确定各地区的降碳指标。同时重视地方政府碳约束目标的完成情况，进一步完善地方政府绩效考核和评价体系，对地方政府形成强有力的约束，充分发挥碳规制对绿色创新的促进作用。此外，根据区域制定差别化的碳规制，注重区域间的协调性，重视碳规制政策的技术引导效应，积极引导企业发展绿色及高新技术，更大程度发挥碳规制政策对绿色创新的推动作用，推动碳减排和绿色创新的深度融合。

第二，加快数字经济发展。企业应深化与互联网的融合发展，加快推动将数字技术运用与绿色创新研发活动，利用互联网推动信息流动与共享，提升企业研发、生产、销售等环节的运行效率，借助数字信息技术制定符合自身发展与环境规制的绿色创新发展战略。政府应借助数字技术，增强环境监测的精确性与透明度，运用大数据与网络信息技术实时监测环境目标的完成情况与污染排放的动态趋势，提高考核目标与政策的科学性与有效性。

第三，加快建设交通基础设施。完善的交通网络能够强化碳规制对城市绿色创新的促进作用。应该加大对交通基础设施建设的投资力度，把握交通建设带来的发展机遇，促进城市发展，营造良好的城市创新环境。科学布局交通基础设施，不仅要关注交通运输的便利性，还要重视创新的溢出机制，避免盲目投资，通过科学布局有效引导技术研发、创新资金与研发人员的空间流动和布局。同时，加快传统交通基础设施的智能化、数字化改造升级，提高交通基础设施水平，促进城市绿色创新。

第四，提高市场化程度。创新活动具有成本风险高、回报周期长等特点，具有明显的外部性，存在加大风险，往往成为企业创新的障碍。应该积极推进市场化改革，完善市场基础设施、市场服务机制，健全相关法律制度，建立公平、公正的现代市场体系，充分发挥市场对资源配置的决定性作用，提升企业开展绿色创新活动的积极性。坚持有效市场和有为政府相结合，强化知识产权保护，完善绿色创新成果转化机制，政府加大对企业绿色创新的政策资金支持，引导企业与社会进行绿色创新活动。

参考文献：

李江龙,徐斌.“诅咒”还是“福音”：资源丰裕程度如何影响中国绿色经济增长?[J].经济研究,2018,53(09):151-167.

蒋伏心,王竹君,白俊红.环境规制对技术创新影响的双重效应——基于江苏制造业动态面板数据的实证研究[J].中国工业经济,2013(07):44-55.

-
- 陶锋, 赵锦瑜, 周浩. 环境规制实现了绿色技术创新的“增量提质”吗——来自环保目标责任制的证据[J]. 中国工业经济, 2021, No. 395(02): 136-154.
- 李思慧. 环境规制与城市绿色创新: 助力抑或阻力?[J]. 现代经济探讨, 2023, No. 494(02): 94-104.
- 李青原, 肖泽华. 异质性环境规制工具与企业绿色创新激励——来自上市公司绿色专利的证据[J]. 经济研究, 2020, 55(09): 192-208.
- 孔东民, 石政. “双碳”目标下我国企业绿色技术创新的环境规制优化研究[J]. 税务与经济, 2022(06): 1-7.
- 朱于珂, 高红贵, 丁奇男等. 地方环境目标约束强度对企业绿色创新质量的影响——基于数字经济的调节效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(05): 106-119.
- 余泳泽, 孙鹏博, 宣烨. 地方政府环境目标约束是否影响了产业转型升级?[J]. 经济研究, 2020, 55(08): 57-72
- 李媛, 张同斌, 亓鹏飞. 地方环境约束目标对经济增长的影响效应[J]. 中国环境科学, 2020, 40(10): 4617-4630.
- Porter M E. America's green strategy [J]. Scientific American, 1991, 264(4): 168 - 264.
- 余泳泽, 林彬彬. 偏向性减排目标约束与技术创新——“中国式波特假说”的检验[J]. 数量经济技术经济研究, 2022, 39(11): 113-135.
- 刘志铭, 刘雨庆, 杨志江. 地方政府环境目标是否影响了企业绿色技术创新——基于我国制造业上市公司数据的经验研究[J]. 华南师范大学学报(社会科学版), 2022(05): 126-138+207.
- 张彩云, 吕越. 绿色生产规制与企业研发创新——影响及机制研究[J]. 经济管理, 2018, 40([1]余泳泽, 孙鹏博, 宣烨. 地方政府环境目标约束是否影响了产业转型升级?[J]. 经济研究, 2020, 55(08): 57-72. 01): 71-91.
- 张娟, 耿弘, 徐功文等. 环境规制对绿色技术创新的影响研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(01): 168-176.
- 邵帅, 齐中英. 西部地区的能源开发与经济增长——基于“资源诅咒”假说的实证分析[J]. 经济研究, 2008, No. 480(04): 147-160.
- 李江龙, 徐斌. “诅咒”还是“福音”: 资源丰裕程度如何影响中国绿色经济增长?[J]. 经济研究, 2018, 53(09): 151-167.
- 刘宝汉. “福音”还是“诅咒”——自然资源与经济增长关系理论模型及拓展[J]. 经济与管理研究, 2011, No. 220(03): 27-34.
- 方颖, 纪衍, 赵扬. 中国是否存在“资源诅咒”[J]. 世界经济, 2011, 34(04): 144-160.
- 李虹, 邹庆. 环境规制、资源禀赋与城市产业转型升级研究——基于资源型城市与非资源型城市的对比分析[J]. 经济研究, 2018, 53(11): 182-198.
- 陈平, 罗艳. 环境规制、经济结构与资源型城市就业——基于资源型城市与非资源型城市的对比分析[J]. 重庆大学学报(社会科学版), 2021, 27(03): 191-202.
- 张娟. 资源型城市环境规制的经济增长效应及其传导机制——基于创新补偿与产业结构升级的双重视角[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(10): 39-46.
- MILANI S. The impact of environmental policy stringency on industrial R&D conditional on pollution intensity and relocation costs [J]. Environmental and resource economics, 2017, 68(3): 595-620.
- 欧阳晓灵, 张骏豪, 杜刚. 环境规制与城市绿色技术创新: 影响机制与空间效应[J/OL]. 中国管理科学: 1-12[2022-12-05].
- 赵明亮, 冯健康, 孙威. 环境规制影响资源型城市绿色全要素生产率的途径与政策建议[J]. 自然资源学报, 2023, 38(01): 186-204.
- 李平, 方健. 环境规制、数字经济与企业绿色创新[J]. 统计与决策, 2023, 39(05): 158-163.

-
- 诸竹君,黄先海,王焯. 交通基础设施改善促进了企业创新吗?——基于高铁开通的准自然实验[J]. 金融研究, 2019, No. 473(11):153-169.
- 雷淑珍,王艳,高煜. 交通基础设施建设是否影响了区域创新[J]. 科技进步与对策, 2021, 38(21):24-33.
- 邹伟勇. 环境规制能否促进城市绿色创新?[J]. 经济经纬, 2023, 40(02):24-33.
- 张琳琳,许智颖,刘文政等. 有为政府与有效市场协同的城市绿色技术创新实现路径——以山东省16地市QCA分析为例[J]. 科技管理研究, 2023, 43(09):206-214.
- 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, No. 370(01):100-118.
- 国家计委宏观经济研究院课题组. 我国资源型城市的界定与分类[J]. 宏观经济研究, 2002(11):37-39+59.
- 赵涛,张智,梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据[J]. 管理世界, 2020, 36(10):65-76.
- 邓明. 中国城市交通基础设施与就业密度的关系——内生关系与空间溢出效应[J]. 经济管理, 2014, 36(01):163-174.
- 史丹,叶云岭,于海潮. 双循环视角下技术转移对产业升级的影响研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2023, 40(06):5-26.
- 杨桐彬,朱英明,刘梦鹤等. 资源型城市产业协同集聚、市场化程度与环境污染[J]. 产业经济研究, 2020(06):15-27+112.

Research on the impact of carbon regulation on green innovation in resource-based cities

——Based on the comparative analysis of resource-based cities and non-resource cities

Luo Yan, Xie Xinyu^{†§}

Abstract: Green innovation is the key to promoting the low-carbon transformation of cities, and environmental regulation has become an important factor affecting green innovation. Based on the panel data of 276 prefecture-level cities in China during the 12th and 13th Five-Year Plan periods, this paper empirically studies the impact of carbon regulation on urban green innovation. It is found that carbon regulation can promote green innovation, and the positive effect of carbon regulation on green innovation in non-resource cities is greater than that of resource-based cities. The heterogeneity test shows that carbon regulation has a significant positive effect on coal-type and oil-based resource cities, and has a positive impact on resource-based cities at different stages of development, but the size is different. The promotion effect analysis shows that improving the level of digital economy, transportation infrastructure and marketization can promote the positive effect of carbon regulation on green innovation in resource-based cities. Local governments should establish a sound carbon regulation and constraint system, improve the level of digital economy, accelerate the construction of transportation infrastructure, and improve the degree of marketization.

Keywords: carbon regulation; urban green innovation; resource-based cities; Promoting effect

[†] Luo Yan, Ph.D. in Economics, is a lecturer at Guangxi Normal University, mainly engaged in regional economics and environmental economics

[§] Xie Xinyu (Corresponding author): Master student of Guangxi Normal University, mainly engaged in regional economics research, contact xxy13554573641@163.com.