

跨界流域生态补偿政策能够协同推进降碳减污 扩绿增长吗

——来自中国 263 个地级市的经验证据

王 兰, 徐盈之

摘 要: 随着生态文明建设推进, 跨界流域生态补偿政策成为区域协调发展与生态协同治理的重要手段。本文利用 2011—2022 年中国 263 个地级市的面板数据, 采用熵权法和耦合协调度模型测算了城市的降碳减污扩绿增长水平。在此基础上, 以跨界流域生态补偿政策为外生冲击事件, 运用多期双重差分模型研究了该政策对降碳减污扩绿增长的影响及其传导机制。研究发现: 跨界流域生态补偿政策能够协同推进城市降碳减污扩绿增长。机制检验表明, 跨界流域生态补偿政策通过促进产业结构升级、推动绿色技术创新、增强公众环保意识这三条路径协同推进城市降碳减污扩绿增长。进一步研究发现, 财政压力在跨界流域生态补偿政策协同推进城市降碳减污扩绿增长中具有负向调节效应, 节能环保投入具有正向调节作用。此外, 跨界流域生态补偿政策对协同推进降碳减污扩绿增长的促进作用在资源型城市、环境规制强度较弱的城市、作为受偿区的上游地区中更加显著; 同时, 从资金补偿方向来看, 单向生态补偿不利于协同推进降碳减污扩绿增长, 纵向补偿和双向补偿对协同推进降碳减污扩绿增长具有促进作用。本研究为生态补偿制度优化与生态产品价值实现提供实证支持与政策建议, 助力经济发展与生态保护的深度融合。

关键词: 跨界流域生态补偿; 降碳减污扩绿增长; 双重差分法; 作用机制; 调节效应

中图分类号: F124.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-0169(2025)06-0090-17

一、引 言

作为发展中大国, 中国在快速推进现代化的进程中, 生态环境保护的结构性、根源性、趋势性压力总体上尚未根本缓解^[1]。党的二十大报告明确提出, 要统筹产业结构调整、污染治理、生态保护、应对气候变化, 协同推进降碳、减污、扩绿、增长, 推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展。协同推进降碳、减污、扩绿、增长已成为国家层面的核心战略导向, 其核心要义在于打破传统发展模式下经济增长与环境保护的二元对立, 降低碳排放强度、削减主要污染物排放总量、扩大生态系统碳汇容量与生态空间、培育绿色新质生产力, 从而实现发展方式的转变。在此背景下, 具有跨区域性与复杂性特征的流域生态环境保护, 成为推进生态保护优先与绿色发展的关键

基金项目: 研究阐释党的二十届三中全会精神国家社会科学基金重大专项“降碳、减污、扩绿、增长协同推进的理论与实践研究”(24ZDA094); 国家社会科学基金项目“数实融合驱动制造业低碳发展的机理及路径研究”(23BJY007)

作者简介: 王兰, 东南大学经济管理学院 (江苏南京 211189); 徐盈之 (通讯作者), 东南大学经济管理学院, xuyingzhi@hotmail.com

环节。值得注意的是, 流域生态系统的整体性与行政区划的分割性之间的矛盾, 使得跨区域生态治理成为难题。流域上下游地区往往因发展诉求不同, 在生态保护与经济发展的平衡上难以达成共识。上游地区为保护生态可能限制产业发展, 却难以获得合理补偿; 下游地区享受生态红利, 却缺乏分担保护成本的动力。这种区域利益失衡不仅制约着流域生态环境的整体改善, 也对沿线城市降碳减污扩绿增长的协同推进形成阻碍。

为破解跨流域治理难题, 中国政府积极探索制度创新, 2007 年原国家环境保护总局发布了《关于开展生态补偿试点工作的指导意见》, 提出流域生态保护相关利益方应秉持“共建共享, 双赢发展”的原则, 为跨界流域生态补偿机制的建立奠定了制度基础。2011 年安徽与浙江两省在新安江流域开启首个跨界流域生态补偿试点, 以市场横向补偿为主、财政纵向转移支付为辅, 通过综合应用环境经济手段, 以流域省份交界处断面水质为标准进行测算, 对上下游制定补偿规则。新安江流域通过“水质对赌”的创新模式, 在保护水环境等方面取得了显著成效, 为全国提供了宝贵经验。随后, 在国家发展改革委、财政部、生态环境部等部委的联合推动下, 试点范围迅速扩大^[2], 陆续覆盖了东江(粤赣)、九洲江(粤桂)、汀江-韩江(闽粤)、引滦入津(津冀)、潮白河(京冀)、赤水河(云贵川)等重点跨界流域。截至 2025 年, 全国已有 24 个省份建立了 30 个跨省流域横向生态保护补偿机制^①。

跨界流域生态补偿政策的核心目标在于建立覆盖更加全面、权责更加明晰、方式更加多元、治理更加高效的横向生态保护补偿机制, 实现生态产品供给地与受益地良性互动, 坚持“谁污染、谁治理, 谁保护、谁受益”, 吸引更多社会资本参与生态文明建设, 实现生态保护目标和维持生态系统平衡^{[3][4]}。那么, 这一政策能否有效促进降碳减污扩绿增长, 实现生态保护与经济发展的双赢? 如果能, 主要通过哪些机制来实现? 该效应是否存在异质性? 有哪些因素会影响二者之间的关系? 本文旨在回答上述关键问题, 以期评估跨界流域生态补偿政策的综合成效, 为完善流域协同治理与促进区域绿色低碳高质量发展提供科学依据和政策启示。

二、文献综述

随着全球气候变化的日益严峻以及对生态环境保护的重视程度不断加深, 降碳减污扩绿增长已成为实现经济社会可持续发展的关键路径。研究指出, 降碳减污扩绿增长协同追求高污染高耗能的“工业模式”向节约集约的“生态模式”转变, 促进人与自然和谐共生, 是人与自然关系演化和发展到一定阶段的必然结果^[5]。学术界已经意识到降碳减污扩绿增长协同发展的必要性, 并从能源、产业、技术和政策制度等角度探讨了其推进路径。在能源调整方面, 提升清洁能源在能源消费结构中的占比能够有效降低碳排放, 减少污染性传统能源的使用^[6]。在产业结构方面, 产业结构优化淘汰高耗能、高污染产业, 培育发展绿色低碳产业, 既有助于减少污染排放, 又能推动绿色经济增长^{[7][8]}。在技术创新层面, 绿色技术、清洁技术的研发与应用能够提升资源利用效率^[9], 降低生产过程中的能耗与污染物排放, 从而对降碳减污扩绿增长协同发展产生正向影响^{[10][11]}。此外, 制度安排与政策工具的完善亦是实现协同发展的制度保障, 已有文献指出环境保护税^{[12][13]}、碳排放权交易^[14]、排污费^[15]等环境规制政策都是影响降碳减污扩绿增长的重要因素。

然而, 当前鲜有研究聚焦于跨界流域生态补偿与降碳减污扩绿增长之间的关系研究, 学者们主要考察了跨界流域生态补偿政策的环境效益和经济效益。就环境效益而言, 政策通过资金激励

^① 参见自然资源和生态环境司:《财政部召开健全流域横向生态保护补偿机制部署会》, 网址: https://www.mof.gov.cn/zhengwuxinxi/caizhengxinwen/202506/t20250617_3965853.htm, 2025 年 6 月 17 日。

与水质考核联动，推动上下游协同治污，减少排入水体的污染物总量，有效推动水质持续改善^[16]。而且，跨界流域生态补偿政策对当地政府和企业均施加了外生的环境目标约束，引发生产要素向更加清洁的部门流动，推动能源转型，优化流域生态环境^{[17][18]}。补偿资金直接用于上游水源地、森林、湿地等生态敏感区域的保护、修复和建设，保护和恢复流域生态系统与生物多样性^[19]。学术界对于政策的经济效益尚未得到一致结论，一部分学者认为跨界流域生态补偿政策促进上下游地区开展产业协作和人才交流，通过增加就业数量和改善就业结构进而提升受偿地区居民的经济状况^{[20][21]}。此外，政策能够显著缩小流域上下游区县间居民财富差距，促进流域共同富裕^[22]。持相反意见的学者认为流域生态补偿试点对生态保护地的产业发展形成了制约，降低了当地居民对生态资源的开发利用水平，从而缩减就业岗位和劳动时间^[23]。此外，由补偿带来的第三产业比重增加并不能抵消第二产业比重下降所造成的机会成本损失，扩大了财政缺口，不利于区域经济发展^[24]。

综上，现有研究在相关主题上已取得一定进展，但仍存在拓展空间。第一，多数研究从产业、能源、技术、制度等层面探讨了降碳减污扩绿增长的影响因素，鲜有研究关注跨界流域生态补偿对协同推进降碳减污扩绿增长的影响。跨界流域生态补偿作为环境治理工具，其对多目标协同的综合影响仍有待系统评估。第二，现有研究多以单一流域作为研究对象，侧重于特定区域的生态补偿政策实施效果考察，对多个流域样本系统性分析的研究相对缺乏。第三，现有研究对跨界流域生态补偿政策通过哪些路径影响环境与经济系统之间的耦合互动过程缺乏探讨，机制识别仍显薄弱。针对上述不足，本文可能的边际贡献在于以下方面。首先，跨界流域生态补偿不仅具有环境保护功能，更承载着区域间环境责任的重新分配和经济利益的再协调。本文以此为切入点，系统评估政策对协同推进降碳减污扩绿增长的影响，为理解生态治理工具如何服务于多重环境与发展目标提供了新的理论视角与经验证据。其次，本文以全国范围内已实施跨界流域生态补偿政策的城市为研究样本，运用计量分析方法系统识别政策的总体效应，并进一步从城市的资源禀赋、环境规制强度、所处流域区位、资金补偿方向等维度切入，剖析政策效应的异质性特征。最后，本文从产业结构、绿色创新、环保意识等视角入手，探索政策影响降碳减污扩绿增长协同效应的作用路径，并考察了财政压力和节能环保投入对二者之间关系的影响，丰富和完善了跨界流域生态补偿政策促进绿色发展的机制识别框架。

三、理论分析与研究假设

（一）影响机制分析

依据外部性理论与科斯定理，跨界流域生态补偿政策能够有效纠正区域间生态环境治理中的外部性失衡与产权不清问题^[2]，促进生态保护责任与受益之间的利益协调，进而协同推进城市降碳减污扩绿增长。具体来说，就生态资源统筹而言，政策通过明确上下游生态保护与开发的权责边界，推动生态空间的分工优化与功能协同，促进了生态要素在区域间的合理配置与高效流动，为下游城市提供了稳定优质的生态服务，提升其减污降碳的基础能力。就环境治理联动而言，政策通过中央引导、省际协调与地方落实相结合的机制安排，强化了流域上下游城市在目标设定、标准制定、治理行动等方面的协同一致性，减少了治理碎片化与政策冲突，提升了整体治理效能^[25]。在这一过程中，补偿机制不仅传递了保护激励信号，也促使城市政府间建立长期合作关系，推动水资源保护、大气治理与生态恢复等政策的协同实施，有助于在实现生态环境改善的同时兼顾经济的绿色增长。就区域协同发展而言，政策推动区域绿色要素重组与经济结构优化，强化区域间在产业布局、生态产品价值实现和绿色基础设施建设方面的协作互补，促进城市在绿色

转型中形成错位竞争、联动发展的格局^[26]。这种区域协同机制打破了行政边界的约束, 为不同地区在降碳、减污与生态修复等目标上的一体化推进提供了平台支撑和制度保障, 推动绿色与增长目标的兼容共进。因此, 本文提出假设 1。

H1: 跨界流域生态补偿政策能够协同推进城市降碳减污扩绿增长。

跨界流域生态补偿政策能够通过引导地方政府优化产业政策与环境治理导向, 推动产业结构合理化与绿色化转型升级, 进而协同推进城市降碳减污扩绿增长。一方面, 从产业结构合理化的角度来看, 政策引导资源向高效益、低污染的产业集聚, 推动地方政府兼顾产业质量与环境效益。在补偿机制推动下, 各流域关停淘汰、整体搬迁污染企业^[2], 拒绝污染与高耗能项目, 联合开展高耗水高污染企业疏解行动。同时, 各流域严格执行高耗能产业准入负面清单, 重点发展节水型装备制造、电子信息、生物医药、新能源等高技术产业, 有效消除工业点源污染、降低单位能耗。这些实践通过产业资源的合理优化, 为城市培育了更强的创新驱动力和绿色增长潜力^[27]。另一方面, 从产业结构绿色化的角度来看, 政策明确补偿资金优先投向绿色产业培育与传统产业绿色改造。新安江流域推动传统农业向有机农业转型, 大力发展绿色食品、生态旅游、徽文化、绿色软包装、汽车电子、新材料等与生态环境相适应的主导产业; 潮白河流域投入资金发展节水型生态农业和再生水利用工程, 助力工业园区低碳改造; 九洲江流域补偿资金推动禽畜养殖业向集中化、循环化升级, 降低污染并提升生态农产品附加值。综上所述, 跨界流域生态补偿政策不仅通过产业结构的“去污染、增技术”实现了合理化, 也通过“去灰色、增绿色”实现了绿色化, 二者共同促进城市在降碳减污扩绿增长目标的系统协同, 据此提出假设 2。

H2: 跨界流域生态补偿政策通过促进产业结构升级来协同推进城市降碳减污扩绿增长。

跨界流域生态补偿政策能够通过推动绿色技术创新, 强化绿色技术供给与绿色生产能力, 进而协同推进城市降碳减污扩绿增长。一方面, 就技术改造升级而言, 流域生态补偿政策通过界定上下游地区在生态保护与受益关系中的权责边界, 形成“谁受益、谁补偿; 谁保护、谁受益”的机制导向^[28]。“水质达标得补偿、不达标需赔偿”的奖惩机制倒逼监测技术从传统的常规理化指标检测向微量污染物、生物毒性等深度指标拓展, 从滞后的人工记录向实时预警的智能系统升级, 催生出适配复杂流域的水质在线监测设备、污水处理新技术、农业生产经营技术等。此外, 补偿资金的定向注入为技术落地提供关键支撑, 推动治理技术从零散的末端减排向源头防控、过程管控、末端修复的全链条改造。另一方面, 就绿色技术合作而言, 政策构建的跨域协作框架打破了行政区域对创新资源的分割, 促使上下游联合搭建研发中心、统一技术标准, 加速先进技术在全流域的推广应用与迭代优化, 避免重复研发与技术适配难题。同时, 政策鼓励建设跨区域生态产业园区, 促进产业梯度转移和协同创新, 推动下游发达地区的环保设备制造、绿色生产工艺等环节向上游转移, 不仅为环保科技企业开辟了广阔市场, 也带动了上游地区产业的绿色升级和创新能力的提升。综上, 跨界流域生态补偿政策不仅促进了技术改造升级, 也通过跨域合作推动了绿色技术的扩散与共享, 据此提出假设 3。

H3: 跨界流域生态补偿政策通过推动绿色技术创新来协同推进城市降碳减污扩绿增长。

跨界流域生态补偿政策通过构建激励与约束并重的制度机制, 提升地方政府、企业及公众的环保意识, 进而促进城市降碳减污扩绿增长协同发展。一方面, 就环保激励而言, 生态补偿政策通过建立正向激励体系, 引导了地方在产业规划、公共投资、宣传教育等方面更加强调生态价值, 强化了绿色导向与环境责任意识。在此基础上, 企业逐步将生态绩效纳入经营目标, 社会公众也在长期激励引导中形成生态友好的价值认知, 推动形成广泛参与、共同推动的绿色发展氛围^[29]。另一方面, 就生态监管而言, 跨界流域生态补偿政策通常与生态红线制度、生态监测预警机制等协同运行, 环境治理差的地区承担生态治理失误或绩效下降带来的财政资金赔付, 并丧失获得额

外收益的机会。在此压力驱动下，地方政府提高环境执法效率，增大污染企业违规成本，强化公众对生态损害行为的监督意识，进而增强企业和居民对环境保护重要性的认识。因此，跨界流域生态补偿政策通过环保激励培育绿色发展理念，通过生态监管压力强化环境责任感，为降碳减污扩绿增长协同目标提供了观念基础与行为动力，据此提出假设4。

H4：跨界流域生态补偿政策通过增强公众环保意识来协同推进城市降碳减污扩绿增长。

作用机理图如图1所示：

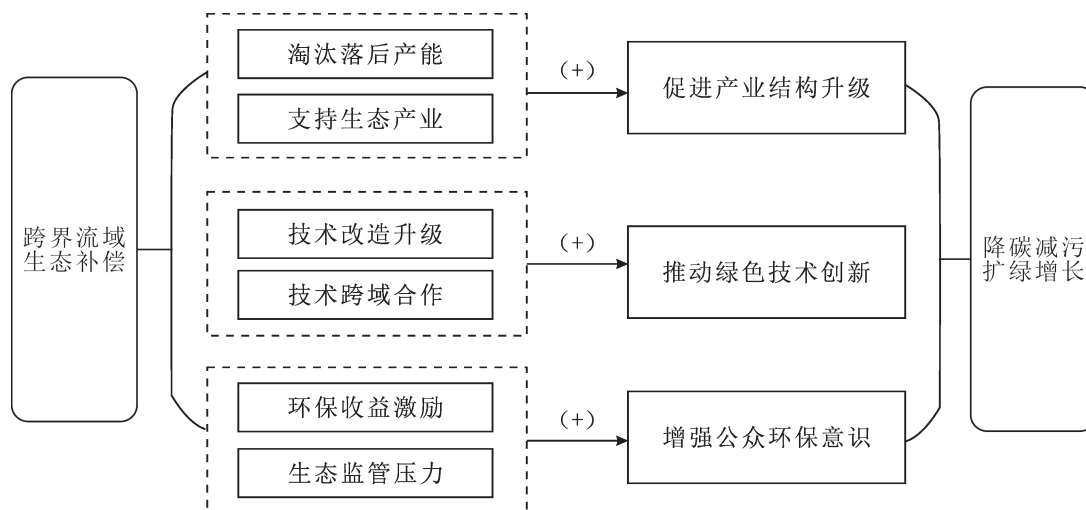


图1 作用机理图

（二）调节效应分析

在跨界流域生态补偿政策的实施过程中，财政压力反映了地方政府在财政收支平衡方面面临的约束程度，是影响其政策执行能力与资源配置效率的重要因素。政策效果不仅取决于制度设计和激励机制，还受到地方政府财政状况的制约。一方面，当地方政府在财政收入有限且支出压力较大时，其往往倾向于将财政资源优先配置到维持基本公共服务、保障社会运行等短期刚性需求领域，而对环保与绿色发展等长期性、外部性较强的项目投入不足。这种资源配置偏向可能导致跨界流域生态补偿政策缺乏稳定且持续的财政支撑。另一方面，财政压力还会制约政策执行的组织能力与技术支撑。财政紧张地区的地方政府在政策执行过程中可能面临人力资源不足、专业技术支撑有限以及监管能力受限等问题，导致监督与考核机制难以全面落实，项目推进缺乏实时跟踪和效果评估。同时，专业技术能力的不足可能削弱政策在引导企业技术改造、推动产业绿色升级等关键环节的作用，从而削弱跨界流域生态补偿政策的协同推进效应。基于上述分析，本文提出假设5。

H5：财政压力在跨界流域生态补偿政策助力协同推进城市降碳减污扩绿增长中发挥负向调节作用。

在跨界流域生态补偿政策实施过程中，节能环保投入体现了地方政府对绿色发展的资源投入与政策偏好，可能影响政策的实施效果。一方面，较高水平的节能环保投入为生态补偿政策提供了关键的配套资金与能力支撑，不仅保障补偿项目从规划到落地的顺利推进，还能够支持项目的长期运营与维护，确保政策措施得以持续实施。同时，充足的节能环保投入有助于建立完善的监管体系和效果评估机制，强化政策执行过程中的监督、考核和反馈环节，从而将财政资金转化为切实可行的生态效益，有效避免因地方财政配套不足导致的政策效能衰减或执行滞后问题。另一方面，高水平的环保投入不仅向市场传递了地方政府推动绿色发展的坚定承诺，也降低了绿色投

资的不确定性和风险, 为社会资本流向绿色产业创造了有利条件^[30], 激励企业主动积极参与生态治理和产业绿色转型, 从而推动政府、企业与社会资本形成良性互动, 实现公共财政、市场资源和企业创新能力的多元协同, 从而显著增强跨界流域生态补偿政策在促进城市降碳减污扩绿增长协同发展中的整体作用。因此, 本文提出假设 6。

H6: 节能环保投入在跨界流域生态补偿政策助力协同推进城市降碳减污扩绿增长中发挥正向调节作用。

四、研究设计

(一) 模型设定

我国跨界流域生态补偿机制采取试点先行、逐步推广的模式, 新安江流域(浙皖)、九洲江流域(粤桂)、东江流域(赣粤)、赤水河流域(云贵川)等代表性试点的协议签署、机制正式运行的时间点各不相同。因此, 本文采用多时点双重差分模型检验来进行实证考察:

$$Coor_{it} = \beta_0 + \beta_1 DID_{it} + \beta_i Control_{it} + \gamma_i + \theta_t + \epsilon_{it} \quad (1)$$

其中, i 、 t 分别表示城市和年份, 变量 $Coor_{it}$ 为 t 时期城市 i 的降碳减污扩绿增长协同发展水平, DID_{it} 是本文的核心解释变量, 其回归系数 β_1 代表了政策的净效应; γ_i 、 θ_t 分别表示城市和年份的固定效应, ϵ_{it} 为随机扰动项。

(二) 变量说明

1. 被解释变量。降碳减污扩绿增长协同发展水平 ($Coor$): 本文在已有研究^[31]的基础上, 选取降碳、减污、扩绿和增长四个一级指标构成指标体系(如表 1 所示), 依据各一级指标内涵及数据可得性又下设若干个二级指标。此外, 本文引入耦合协调度模型进行测算, 该模型起源于物理学“耦合”概念, 用于研究不同系统或同一系统各子系统之间的协同发展能力。其核心思想是: 首先, 通过指标体系测度各子系统的发展水平; 其次, 通过系统耦合度 C 反映各个子系统之间互动紧密程度与平衡性, 若某一维度偏低, 则整体耦合度下降; 最后, 引入耦合协调度 D , 综合考虑各子系统发展水平与耦合状况, 用于描述系统间的发展与协调水平^[32]。测算过程如下。

(1) 测度各子系统的发展水平。将各指标进行标准化处理:

$$\text{正向指标: } y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (2)$$

$$\text{负向指标: } y_{ij} = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})} \quad (3)$$

$$\text{计算第 } i \text{ 个样本第 } j \text{ 项的比重: } P_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^n y_{ij}} \quad (4)$$

表 1 降碳减污扩绿增长评价指标体系

一级指标	二级指标	指标属性
降碳系统	人均碳排放	-
	煤炭消耗量	-
	碳排放强度	-
	电力消耗量	-
减污系统	PM _{2.5}	-
	工业氮氧化物排放量	-
	工业二氧化硫排放量	-
	工业烟尘排放量	-
	生活无害化垃圾处理率	+
扩绿系统	城市绿地面积	+
	公园绿地面积	+
	建成区绿化覆盖率	+
增长系统	人均可支配收入	+
	社会消费品零售总额	+
	城镇化率	+
	医院、卫生院床位数张	+

$$\text{计算信息熵: } e_j = -\frac{\sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}}{\ln n} \quad (5)$$

$$\text{计算权重: } w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{i=1}^m e_j} \quad (6)$$

$$\text{计算各系统的综合指数: } F_i = \sum_{j=1}^m w_j X_j \quad (7)$$

(2) 计算耦合度。依据熵值法得到四个子系统的综合评价指数 U_i ($i=1, 2, 3, 4$), 采用多系统耦合度模型衡量四个维度之间的耦合关系, 计算公式为:

$$C = 4 \left[\frac{U_1 U_2 U_3 U_4}{(U_1 + U_2 + U_3 + U_4)^4} \right]^{1/4} \quad (8)$$

其中, U_1 至 U_4 分别表示四个子系统的综合评价指数, C 为系统耦合度, 在区间 $[0, 1]$ 内取值。 C 越趋近于 0, 代表各子系统之间的相关作用程度越低; 当 $C=0$ 时, 系统处于无序状态; C 越接近 1, 表示系统间耦合良好。

(3) 计算耦合协调度。耦合度能够揭示系统之间的“互动紧密度”, 但这种方法无法排除当各系统均处于较低水平时可能会出现“虚假高耦合”现象, 无法体现系统整体的协调发展状况。因此, 为反映各子系统间的协调发展水平, 进一步引入耦合协调度模型:

$$T = \beta_1 U_1 + \beta_2 U_2 + \beta_3 U_3 + \beta_4 U_4 \quad (9)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (10)$$

T 为协调度, β_i 为各系统的贡献权重, 本文认为四个系统同等重要, 故取值均为 0.25; D 为耦合协调度, D 值高说明各系统之间是高水平的相互促进关系, D 值低说明各系统之间是低水平的相互制约关系。

2. 核心解释变量。流域生态补偿政策 (DID)。本文将跨界流域生态补偿政策的实施作为准自然实验, 以城市是否参与该政策设立虚拟变量 $Treat$, 若参与则 $Treat$ 值为 1, 否则为 0。 $Post$ 表示政策试点前后时间, 若在政策实施之后则为 1, 否则为 0, 二者相乘为本文核心解释变量 DID 。

3. 控制变量。借鉴已有研究^[33], 本文选取了以下控制变量。

(1) 人口规模 (Pop)。政策效果可能因城市人口规模而不同, 人口规模较大的城市常面临更高的能源消耗、碳排放与污染负荷, 对生态治理和环境保护要求也更高; 同时, 其更大的市场容量和劳动力基础, 有助于推动绿色产业发展与技术创新。因此, 本文使用城市户籍人口的自然对数来衡量人口规模并进行控制, 以便更精准地识别补偿机制的净效应。

(2) 财政投资力度 (Inv)。财政投资力度体现地方政府在基建、生态治理和环保上的财力支撑。财政投入充足的城市可为生态补偿提供配套资金, 支持绿色技术改造、环境基建和清洁能源推广, 增强政策正向作用; 同时, 这也反映地方政府的政策执行意愿与管理能力, 高投入地区在政策宣传、监督及绩效评估上更具优势, 有助于降低政策实施的不确定性。因此, 本文使用城市固定资产投资与政府财政一般支出的比值测度该变量。

(3) 对外开放水平 ($Open$)。高开放度地区更易获取国际先进的环保技术与管理理念, 提升降碳减污效率; 但同时, 对外开放可能带来“污染避难所”效应, 部分高污染产业迁入开放度较低的地区, 影响了当地的降碳减污水平。因此本文采用实际利用外资额与地区生产总值的比值计算。

(4) 教育支出水平 (Edu)。教育支出水平反映了地方在人才培养和知识积累方面的投入, 是

提升公众环保意识、培育绿色技能、推动绿色创新的重要保障。教育水平的提高不仅增强劳动力的环境责任感, 还为绿色技术研发和应用提供人力支撑, 因此本文采用教育支出除以政府财政一般支出的方法进行衡量。

(5) 基础设施建设水平 (*Inf*)。基础设施是衡量城市生产生活条件、交通运输效率以及能源利用效率的重要指标。完善的基础设施能够提升资源利用率、减少污染排放、优化产业布局, 基础设施薄弱会加大绿色转型难度。因此, 控制基础设施建设水平能够排除不同城市硬件条件差异对政策效果评估的干扰。本文采用人均道路面积来表示。

为避免纳入可能受政策影响的事后变量而产生“坏控制变量”的问题, 本文参考现有文献中关于控制变量选择的规范^{[21][34]}, 考虑了可能的事前决定因素, 如经济发展水平、农作物总播种面积、城市行政等级。其中, 经济发展水平采用城市 GDP 的自然对数来衡量, 城市行政等级设置虚拟变量来表示, 省会城市与直辖市赋值为 1, 否则为 0, 以上变量均采用 2011 年的数据。通过纳入事前经济发展水平、农作物总播种面积、城市行政等级与年份的交互项, 本文能够更准确地控制政策实施前城市间经济基础差异、土地利用差异、行政等级变化等个体异质性, 从而减少试点选择的内生性偏差。

(三) 样本选择与数据来源

考虑到样本数据的可获得性与完整性, 本文选取 2011—2022 年中国 (不含西藏及港澳台地区) 263 个地级市的数据作为研究样本。本文数据来源主要分为两个部分: 一是流域生态补偿政策的实施时间和参与城市根据中国知网、生态环境部、官方披露协议内容及流域涉及的城市地理位置确定, 包括但不限于渭河流域、新安江流域、九州江流域、汀江-韩江流域等相关城市; 二是关于降碳减污扩绿增长指标体系涉及的数据和其他数据来源于 EPS 数据库、《中国城市统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国能源统计年鉴》等, 采用插值法对部分缺失值进行了补充, 最终形成 3 156 个有效观测值。主要变量的描述性统计结果如表 2 所示, 统计结果与现有文献基本相符, 且多重共线性检验结果表明方差膨胀因子小于 10, 可进行后续分析。

表 2 变量描述性统计结果

类型	符号	观测值	均值	标准差	最小值	最大值	Vif
被解释变量	<i>Coor</i>	3 156	0.482 1	0.089 7	0.156 3	0.881 6	
核心解释变量	<i>DID</i>	3 156	0.087 1	0.282 1	0.000 0	1.000 0	1.03
控制变量	<i>Pop</i>	3 156	5.922 6	0.699 8	2.970 4	8.136 2	1.21
	<i>Inv</i>	3 156	5.813 2	3.740 3	0.022 1	35.852 4	1.04
	<i>Open</i>	3 156	0.002 5	0.002 6	0.000 0	0.029 4	1.07
	<i>Edu</i>	3 156	0.177 3	0.038 2	0.043 6	0.356 2	1.21
	<i>Inf</i>	3 156	18.615 2	7.796 3	1.370 0	60.070 0	1.03

五、实证结果与分析

(一) 基准回归

表 3 报告了基准回归结果, 无论是否加入控制变量, *DID* 的回归系数均显著为正, 跨界流域生态补偿政策能够协同推进城市降碳减污扩绿增长。进一步地, 本文考虑降碳、减污、扩绿、增长四个维度的核心指标, 选取人均碳排放、工业氮氧化物排放量、公园绿地面积和人均可支配收入四个变量纳入模型进行回归。列 (3) — (6) 的结果发现, 对于降碳指标和减污指标, *DID* 的系数显著为负, 说明跨界流域生态补偿政策的实施降低了碳排放和污染程度。对于扩绿指标和增长指标, *DID* 的系数显著为正, 说明跨界流域生态补偿政策促进了城市扩绿和增长。

表3 基准回归结果

变量	<i>Coor</i>	<i>Coor</i>	<i>carbon</i>	<i>pollution</i>	<i>green</i>	<i>growth</i>
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>DID</i>	0.007 3*** (0.001 4)	0.004 3*** (0.001 3)	-0.023 9* (0.013 5)	-0.024 6*** (0.006 1)	0.050 6* (0.026 5)	0.073 2** (0.035 3)
<i>Pop</i>		0.045 4*** (0.004 5)	-1.016 1*** (0.045 4)	0.059 1*** (0.020 6)	0.581 4*** (0.089 2)	0.032 2 (0.119 0)
<i>Inv</i>		0.000 5*** (0.000 1)	-0.001 3 (0.001 0)	0.000 1 (0.000 5)	0.002 6 (0.002 1)	0.000 2 (0.002 7)
<i>Open</i>		-0.034 2 (0.168 0)	-3.468 5** (1.689 1)	-2.153 9*** (0.765 1)	3.204 1 (3.319 9)	24.470 4*** (4.425 8)
<i>Edu</i>		0.034 7** (0.013 6)	-0.486 8*** (0.136 8)	-0.039 6 (0.061 9)	0.439 2 (0.268 8)	1.152 5*** (0.358 4)
<i>Inf</i>		-0.000 0 (0.000 1)	-0.000 4 (0.000 6)	0.000 2 (0.000 3)	-0.001 0 (0.001 2)	-0.000 2 (0.001 7)
<i>_cons</i>	0.432 8*** (0.000 8)	0.054 2 (0.033 3)	16.965 2*** (0.334 6)	8.793 2*** (0.151 6)	1.362 9** (0.657 6)	11.163 0*** (0.876 7)
事前选择变量	否	是	是	是	是	是
年份固定	是	是	是	是	是	是
城市固定	是	是	是	是	是	是
<i>R</i> ²	0.843 6	0.866 0	0.441 8	0.345 9	0.456 2	0.944 5
<i>N</i>	3 156	3 156	3 156	3 156	3 156	3 156

注：括号中为稳健标准误，*、**、***分别表示在10%、5%、1%显著性水平下显著，下同。

（二）稳健性检验

1. 平行趋势检验。双重差分法使用的一个重要前提是在政策实施前两个组别具有近似一致的变动趋势。因此本文对处理组以及对照组进行了平行趋势检验，主要采用事件研究法以及绘制平行趋势动态效应图来验证在政策冲击前两者的平行趋势（如图2所示）。通过对该政策实施的前六年和后四年设置虚拟变量，然后将政策变量 *Treat* 分别与上述虚拟变量交乘，最后将交互项纳入模

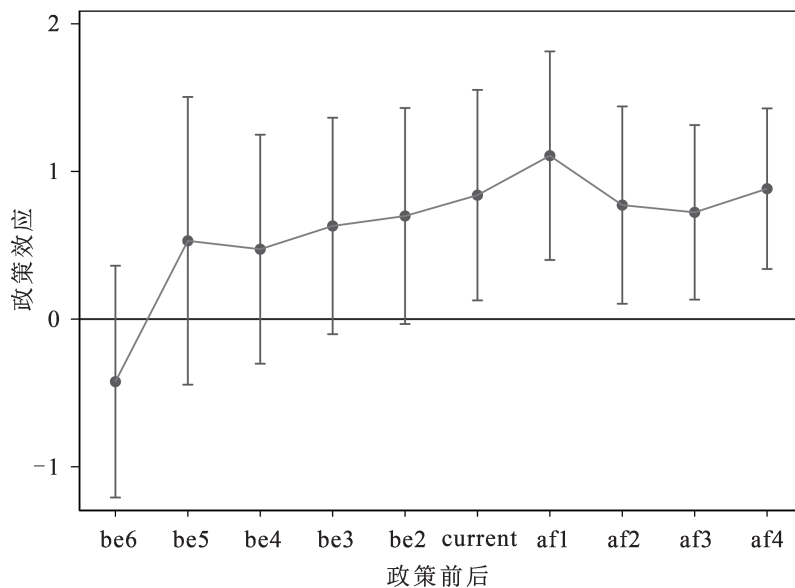


图2 平行趋势检验结果

型中进行回归。结果显示, 在政策实施的前六年, 系数均不显著, 说明在政策实施前处理组和对照组城市之间不存在显著差异, 平行趋势假定得到满足。在政策实施后四期的系数显著为正, 说明在政策实施后处理组城市的降碳减污扩绿增长水平相对于对照组城市显著上升。

2. 安慰剂检验。为确保本文研究结论的稳健性, 本文采用随机抽样的方法进行安慰剂检验。将 263 个城市随机地分为处理组和对照组, 再根据随机样本进行回归。为了尽可能减少其他偶然事件对估计结果的影响, 本文进行了 500 次随机抽样, 并按基准模型进行回归。本文绘制了 500 个估计系数的核密度分布图 (如图 3 所示), 可以发现, “伪处理组” 的估计系数集中在 0 附近, 对应的 P 值普遍不显著, 且远离代表基准模型中真实估计值 0.004 3 的黑色虚线, 安慰剂检验结果表明上文估计系数结果稳健。

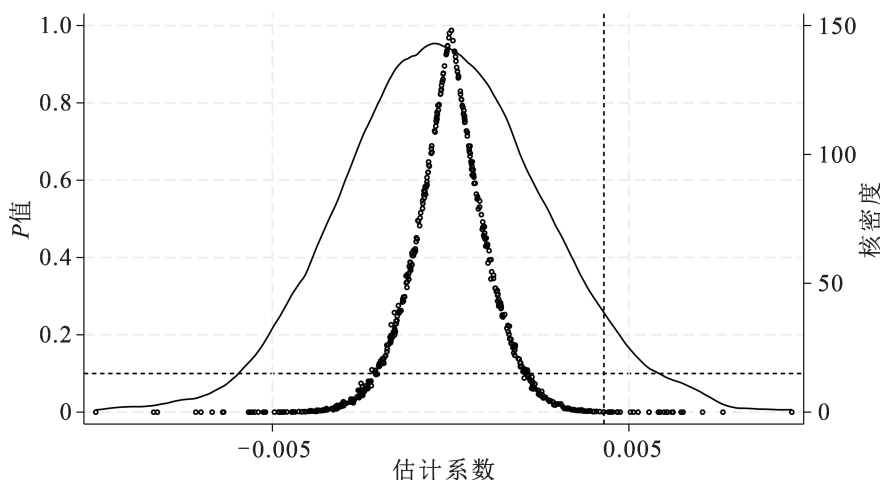


图 3 安慰剂检验结果

3. 更换计量模型。双重机器学习模型不仅放宽了各个变量之间的线性关系形式, 允许变量之间非线性、交互影响关系的存在, 而且还能够同时考虑高维的控制变量, 精确地估计因果关系。鉴于该模型在变量选择和模型估计上具有独特优势, 本文采用该方法重新进行检验, 结果列示于表 4 列 (1)。在更换估计方法之后, DID 系数仍在 1% 的显著性水平下为正, 与双重差分模型估计得到的结论保持一致。

表 4 稳健性检验结果

变量	更换计量模型	PSM-DID		替换被解释变量
	(1)	(2)	(3)	(4)
DID	0.018 4*** (0.004 4)	0.006 5*** (0.001 4)	0.004 1*** (0.001 4)	0.006 0*** (0.001 0)
$_cons$	0.003 3*** (0.000 5)	0.432 2*** (0.000 8)	0.083 7** (0.037 6)	0.276 3*** (0.023 7)
$Controls$	是	否	是	是
事前选择变量	是	否	是	是
年份固定	是	是	是	是
城市固定	是	是	是	是
R^2	—	0.846 5	0.868 6	0.824 7
N	3 156	3 072	3 072	3 156

4. 倾向得分匹配。由于处理组与对照组样本之间本身存在系统性差异, 为了解决样本自选择带来的内生性问题, 本文进一步采用倾向性得分匹配法重新匹配。以前文定义的控制变量

作为协变量, 根据 Logit 模型回归得到倾向得分, 采用最邻近 1:1 匹配方法筛选出 PSM 样本。基于倾向性得分匹配的样本, 本文重新回归得到表 4 列 (2) — (3) 的结果, DID 的回归系数依然显著为正, 说明回归结果具有稳健性。

5. 替换被解释变量。考虑到现有测度方法不能很好地充分捕捉子系统间的动态关联特征, 本文引入灰色关联度分析法, 通过计算降碳、减污、扩绿、增长四个子系统指标序列间的灰色关联度, 将关联度与耦合协调度结合构建的协同度指数作为被解释变量的替代指标。具体思路如下: 首先, 计算绝对差序列 $\Delta_i(t) = |X_0(t) - X_i(t)|$; 其次, 计算关联系数 $\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k \Delta_i(k) + \rho \max_i \max_k \Delta_i(k)}{\Delta_i(k) + \rho \max_i \max_k \Delta_i(k)}$, 其中分辨系数 $\rho = 0.5$; 最后, 计算关联度 $r_i = \frac{1}{n} \sum_i \xi_i(k)$ 。本

文将每个子系统依次作为参考序列, 得到每个城市每年的灰色关联系数, 并计算每轮参考序列下三个比较序列的年度平均关联度, 将四轮参考序列的结果取平均, 形成最终的综合灰色关联度指标, 反映城市四个子系统间的整体协同性。本文将综合灰色关联度与耦合协调度等权重线性加权得到协同度指数, 并将其作为被解释变量纳入回归模型, 结果见表 4 列 (4)。由表 4 可知, 核心解释变量系数显著为正, 表明在替换被解释变量后得到的结论与基准回归结论保持一致。

(三) 内生性检验

在实证模型设定的过程中, 潜在的遗漏变量可能会对政策和降碳减污扩绿增长同时产生影响, 且二者之间可能存在双向因果关系。因此, 本文采用工具变量法来缓解可能存在的内生性问题, 参考已有研究^[17]的做法, 将除本市以外的其他城市的污染源监管信息公开指数 (PITI) 均值作为政策的工具变量。从相关性来看, 流域内其他城市的 PITI 均值反映区域整体环境信息公开水平, 而跨界流域生态补偿政策的推行依赖流域协同治理氛围, 区域内普遍较高的环境信息透明度会降低政策协商与执行成本, 进而促进补偿机制的建立和实施, 故二者存在较强关联; 从外生性来看, 其他城市的 PITI 水平并不会直接影响该城市的降碳减污扩绿增长水平, 满足工具变量外生条件。上述检验结果如表 5 所示, 第一阶段的回归系数显著, 证明工具变量与解释变量相关, 第二阶段核心解释变量系数显著为正, 说明跨界流域生态补偿政策能够协同推进城市降碳减污扩绿增长。而且, Anderson canon. corr. LM statistic 和 Cragg-Donald Wald F statistic 的结果支持不存在识别不足和弱工具变量问题。上述结果表明考虑了内生性问题后, 原结论依然可信。

表 5 内生性检验

变量	工具变量法	
	(1)	(2)
DID		0.0954*** (0.0294)
PITI	-0.0010*** (0.0003)	
_cons	—	—
Controls	是	是
年份固定	是	是
城市固定	是	是
R ²		0.6312
N	3156	3156
Anderson canon. corr. LM		15.4090***
Cragg-Donald Wald F		15.4060***

(四) 机制检验

本文构建如下中介效应模型对前文提出的假说进行检验, 探究上述路径是否发挥作用:

$$Mechanism_{it} = \beta_0 + \beta_1 DID_{it} + \beta_2 Control_{it} + \gamma_i + \theta_t + \epsilon_{it} \quad (11)$$

其中, Mechanism_{it} 表示所检验的机制变量, 包含产业结构升级、绿色技术创新和公众环保意识, 其余变量与模型 (1) 中保持一致。机制变量的选取如下。

1. 产业结构升级 (Ind)。跨界流域生态补偿政策的核心目标是快速平衡生态保护与经济发展, 而产业结构合理化通过优化现有产业比例、调整布局, 能精准解决污染问题, 契合流域治理的跨

区域关联性。因此, 本文借鉴现有研究^[35], 选择泰尔指数测度各城市产业结构与均衡状态的偏离程度, 并对其进行正向化处理来衡量产业结构合理化。

2. 绿色技术创新 (*Green*)。绿色发明专利能够较好地反映一个城市在节能减排、清洁能源、资源循环利用等绿色技术领域的创新能力, 具有明确的绿色属性与技术导向, 能够刻画绿色创新水平, 本文采用城市绿色发明专利申请量的对数来表征。

3. 公众环保意识 (*Awareness*)。公众环境关注度能够反映社会群体对环境问题的认知水平和关注强度, 是环保意识外显的重要表现形式。因此借鉴已有研究^[36], 采用百度雾霾搜索指数来进行衡量。

表 6 的结果显示各列 *DID* 系数均在 1% 的显著性水平下为正, 表明跨界流域生态补偿政策确实能够促进产业结构优化、提升绿色创新水平、增强公众环保意识, 从而促进城市降碳减污扩绿增长的协同发展。一方面, 跨界流域生态补偿政策使地方政府在规划和产业布局时优先考虑生态环境的承载力, 优化区域产业结构, 并引导资金和资源流向环保科技、清洁能源等绿色创新领域, 激发企业和科研机构创新动力。另一方面, 政策鼓励各方形成协同效应, 推动地方政府、企业和公众共同参与流域治理, 有助于各方更加紧密地合作, 推动经济高质量发展。

表 6 中介效应检验

变量	(1)	(2)	(3)
	<i>Ind</i>	<i>Green</i>	<i>Awareness</i>
<i>DID</i>	0.0817*** (0.0180)	0.0600*** (0.0054)	0.0847*** (0.0288)
<i>_cons</i>	0.2759 (0.4483)	-0.1809 (0.1350)	-4.5313*** (0.7160)
<i>Controls</i>	是	是	是
事前选择变量	是	是	是
年份固定	是	是	是
城市固定	是	是	是
<i>R</i> ²	0.0393	0.4291	0.9413
<i>N</i>	3156	3156	3156

六、进一步分析

(一) 调节效应检验

为进一步检验财政压力和节能环保投入是否会影响政策对降碳减污扩绿增长的促进效应, 本文采用一般公共预算支出与一般公共预算收入的差值占 GDP 的比重来衡量财政压力 (*FP*), 节能环保投入 (*Ene*) 采用节能环保支出占财政支出比重来衡量。本文进一步构建两个调节变量与核心解释变量的交互项, 采用调节效应模型来进行检验, 结果如表 7 所示。由第 (1) 列可知, *DID* 与 *FP* 的交互项系数显著为负, 财政压力在政策协同推进城市降碳减污扩绿增长中具有负向调节作用。财政压力可能导致地方政府在环境治理方面的投入受限, 资源更多用于缓解财政紧张而非绿色项目, 进而削弱政策效果。但 *DID* 本身的系数仍显著, 说明尽管财政压力存在负向影响, 政策总体上仍能有效协同推进城市降碳减污扩绿增长。同理, 第 (2) 列的结果表明, 节能环保投入在政策

表 7 调节效应检验

变量	(1)	(2)
	<i>Coor</i>	<i>Coor</i>
<i>DID*FP</i>	-0.0637*** (0.0142)	
<i>DID*Ene</i>		0.1075* (0.0650)
<i>FP</i>	-0.0673*** (0.0081)	
<i>Ene</i>		0.0255 (0.0182)
<i>DID</i>	0.0124*** (0.0021)	0.0008 (0.0025)
<i>_cons</i>	0.0993*** (0.0332)	0.0553* (0.0333)
<i>Controls</i>	是	是
事前选择变量	是	是
年份固定	是	是
城市固定	是	是
<i>R</i> ²	0.8705	0.8662
<i>N</i>	3156	3156

协同推进城市降碳减污扩绿增长中具有正向调节效应。节能环保投入为地方政府提供了财政和技术资源，增强政策执行力，使生态补偿资金能够更有效地传导到具体的产业和企业行为中。此外，节能环保资金支持污染治理设施建设、绿色技术应用和清洁生产，促进产业结构向低碳、低污染和高附加值方向优化升级，提高政策推动产业绿色化和技术创新的效率。

（二）异质性检验

1. 资源禀赋异质性。资源型城市和非资源型城市所面临的发展约束、产业结构、环境压力与转型动力等存在显著差异，这种不同城市的资源禀赋与发展路径很可能导致跨界流域生态补偿政策在协同推进降碳减污扩绿增长时，在不同类型城市产生差异化效果。因此，本文按照国务院印发的《全国资源型城市可持续发展规划》，将研究涉及的城市划分为资源型城市和非资源型城市进行分组回归，探究跨界流域生态补偿政策对城市降碳减污扩绿增长水平的资源禀赋异质性影响，结果如表8列（1）—（2）所示。核心解释变量 DID 的回归系数仅在资源型城市的样本组中显著。由于资源型城市依赖开采和加工自然资源，产业结构单一，生态问题突出，补偿资金可以填补绿色转型资金缺口，推动高污染产业退出，并发展替代产业。而非资源型城市产业结构多元且绿色化程度较高，降污减排的边际成本高，拓展空间有限。补偿资金主要用于维持水质和生态环境，难以推动系统性产业转型，对绿色产业升级和减污降碳的直接拉动效应较弱。

表8 资源禀赋与环境规制强度异质性检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	资源型	非资源型	规制强	规制弱
DID	0.004 6** (0.002 2)	0.002 7 (0.001 6)	-0.002 5 (0.001 9)	0.009 4*** (0.002 0)
$_{-cons}$	0.139 3** (0.054 7)	0.047 4 (0.046 8)	-0.050 0 (0.056 9)	0.254 8*** (0.052 5)
$Controls$	是	是	是	是
事前选择变量	是	是	是	是
年份固定	是	是	是	是
城市固定	是	是	是	是
R^2	0.835 2	0.893 7	0.870 9	0.869 6
N	1 260	1 896	1 578	1 578

2. 环境规制强度异质性。在探究跨界流域生态补偿政策对城市降碳减污扩绿增长的影响时，环境规制强度的显著差异使得不同城市在环境治理标准、政策执行力度、企业环保投入意愿及生态治理基础设施完善程度上存在明显不同，进而导致其对生态补偿政策的承接能力、转化效率与实施效果产生差异。因此，本文参考邵帅等^[37]的研究，以各城市的环保词频所在句子的字数占整个政府工作报告总字数的比重来衡量环境规制强度，并按其中位数将研究涉及的城市划分为环境规制强的城市和环境规制弱的城市进行分组回归，结果列示于表8列（3）—（4）。政策对环境规制较弱城市的四维协同推进作用更强，对环境规制较强城市的推动效应不显著。这主要因为环境规制较弱的城市生态治理标准低、执法力度不足，高污染产业生存空间大，补偿政策能直接推动其完善治污设施和提升环保标准。相反，环境规制较强的城市已建立完善的环境治理体系和监管机制，高污染产业受限，环保设施普及，绿色生产方式成熟，政策实施后改进空间有限。

3. 流域区位异质性。流域生态环境具有典型的跨区域公共品属性，上游承担主要生态保护责任，下游为主要受益方。生态补偿政策通过资金转移与制度安排，将下游受益部分转化为上游激励，缓解公共品供给不足问题，政策在上游多体现为保护投入增加与治理强化，在下游则侧重生态福利提升与资源再分配。因此，本文参考相关研究^[38]，按政策制定的受偿区与补偿区，将受偿

区城市作为流域上游地区, 将补偿区城市作为下游地区, 设立城市流域区位虚拟变量 (*down*), 其中下游地区赋值为 1, 并构建核心解释变量和城市流域区位虚拟变量的交互项来检验政策对协同推进降碳减污扩绿增长的空间异质性。表 9 的回归结果显示, *DID*down* 的系数为负, 且在 1% 的显著性水平下显著。这表明, 相对于下游城市, 上游城市参与跨界流域生态补偿机制对降碳减污扩绿增长的协同推进作用更显著。上游多为水源涵养地或生态核心区, 保护责任重、产业受生态约束大, 绿色转型需求迫切, 补偿机制可提供资金与资源, 推动治理、产业优化并激发绿色治理积极性。而下游主要通过财政支持上游, 资源分配受益有限, 且其经济较发达、产业结构成熟、对补偿依赖低, 边际效应弱于上游。

4. 政策偏向性异质性检验。政策实施过程中, 不同资金补偿方向差异显著: 纵向补偿由中央政府主导, 资金稳定且具有引导性, 侧重流域生态保护基础工程; 双向补偿依据生态贡献与污染责任核算金额, 资金用于上下游协同治理, 强化责任绑定以激发协同积极性; 单向补偿的核心是“受益方付费”, 易因标准不合理导致上游动力不足或下游支付压力过大。因此, 本文借鉴已有文献^[24], 构建单向补偿 (*Ucom*)、双向补偿 (*Bcom*) 和纵向补偿 (*Vcom*) 3 个指标, 将单向生态补偿与政策变量的交互项和纵向生态补偿与政策变量的交互项加入回归, 结果如表 9 所示。*DID*Ucom* 的系数显著为负, 得到单向生态补偿对降碳减污扩绿增长协同发展的影响为 -0.1506, *DID*Vcom* 的回归系数显著为正, 纵向生态补偿对降碳减污扩绿增长协同发展的影响为 0.4002, 双向生态补偿对降碳减污扩绿增长协同发展的影响为 0.0043。上述结果表明单向生态补偿不利于协同推进降碳减污扩绿增长, 纵向补偿和双向补偿对协同推进降碳减污扩绿增长具有促进作用。单向补偿主要是下游向上游转移资金, 虽能弥补上游的保护成本, 但缺乏内生激励, 容易导致上游城市依赖资金, 使用效率低。相比之下, 纵向补偿由中央财政主导, 政策稳定性和资金保障更强, 能有效推动地方政府落实绿色发展责任。双向补偿强调上下游合作与互惠, 有助于建立长期协同治理机制, 促进绿色转型和区域协调发展。

表 9 流域区位与政策偏向异质性检验

变量	(1)	(2)
	<i>Coor</i>	<i>Coor</i>
<i>DID</i>	0.0087*** (0.0021)	0.0043*** (0.0013)
<i>DID*down</i>	-0.0067*** (0.0025)	
<i>DID*Ucom</i>		-0.1549*** (0.0113)
<i>DID*Vcom</i>		0.3959*** (0.0097)
<i>-cons</i>	0.3423*** (0.0392)	0.1023*** (0.0259)
<i>Controls</i>	是	是
事前选择变量	是	是
年份固定	是	是
城市固定	是	是
<i>R</i> ²	0.9840	0.9840
<i>N</i>	3156	3156

七、结论与启示

本文利用 2011—2022 年中国 263 个地级市的数据, 以跨界流域生态补偿政策为外生冲击事件, 运用多时点双重差分模型研究了跨界流域生态补偿政策对协同推进城市降碳减污扩绿增长的影响与内在机理。在此基础上, 本文进一步考察了异质性特征, 同时纳入调节效应分析, 探究财政压力与节能环保投入在上述关系中产生的调节作用, 得出以下结论: 基准回归发现, 跨界流域生态补偿政策有利于协同推进城市降碳减污扩绿增长, 这种积极作用通过促进城市产业结构升级、推动绿色技术创新、增强公众环保意识这三条路径来实现。调节效应检验发现, 在跨界流域生态补偿政策协同推进城市降碳减污扩绿增长过程中, 财政压力发挥了负向调节效应, 节能环保投入起到了正向调节作用。异质性检验表明, 跨界流域生态补偿政策对协同推进降碳减污扩绿增长的促进作用在资源型城市、环境规制较弱的城市、作为受偿区的上游地区中更加显著。从资金补偿方

向来看,单向生态补偿不利于协同推进降碳减污扩绿增长,纵向补偿和双向补偿对协同推进降碳减污扩绿增长具有促进作用。

根据研究结论,本文提出了以下建议。

1. 完善跨界流域生态补偿政策的执行机制,促进绿色发展协同效应的持续扩大。一方面,中央政府应加强政策的顶层设计,确保政策协调一致,细化各省区的实施措施,明确补偿标准、执行程序和考核机制,增强跨界协调。另一方面,应促进流域内区域间的绿色协作与资源共享,建立跨区域生态信息共享平台和联合管理机制,推动上下游及相邻地区在生态保护、污染治理和绿色产业发展等方面实现协同联动,推动流域整体生态环境的系统改善和区域绿色增长。

2. 强化跨界流域生态补偿政策效能,推动产业、技术与社会三大路径融合发展。加强生态补偿与区域产业政策的协同,推动传统产业绿色化并支持绿色产业集群和清洁能源产业。加快构建绿色技术研发全链条支持体系,运用补贴、税收优惠和绿色信贷激励创新,推动跨流域绿色技术合作与创新资源共享。通过媒体、社会组织和教育平台,加强环保宣传教育,提升公众环保意识,推动绿色消费、低碳出行和垃圾分类,促进全社会绿色转型。

3. 坚持因地制宜分类施策,强化重点区域绿色转型靶向支持。优化资金分配机制,优先支持生态功能重要但发展薄弱的上游地区,提升绿色基础设施、产业转型和生态修复能力,缩小区域差距。对资源依赖型城市,应引导发展绿色替代产业、减少资源开采依赖,支持资源再利用和循环经济,推动向“生态友好型”转变。同时,鼓励社会资本和企业参与流域治理,探索“政府引导+市场化运作”模式,推动上下游城市间建立长期稳定的双向补偿合作关系,实现利益共享与责任共担,增强政策的持久性与有效性。

参考文献

- [1] 胡森林,曾刚,王胜鹏,等.长江经济带减污降碳的时空格局演变与技术创新驱动[J].地理研究,2025(1).
- [2] 倪志良,覃梓文,王蕾.“划江分治”到“共治为兴”——跨省流域生态补偿对地区经济增长的影响研究[J].经济问题探索,2024(1).
- [3] Liu, M., L. Yang, Q. Min. Establishment of an eco-compensation fund based on eco-services consumption [J]. *Journal of Environmental Management*, 2018, 211.
- [4] Salzman, J., G. Bennett, N. Carroll, et al. The global status and trends of payments for ecosystem services [J]. *Nature Sustainability*, 2018, 1.
- [5] 祁毓,尹傲雪.协同推进降碳、减污、扩绿、增长的税收政策设计:理论逻辑与政策启示[J].税务研究, 2024(1).
- [6] 冯帅.协同推进降碳、减污、扩绿、增长的法律机制研究[J].中国地质大学学报(社会科学版),2024(4).
- [7] 孙慧,张学峰,夏学超,等.产业转型升级示范区是否协同推进了降碳减污和扩绿增长?[J].中国人口·资源与环境,2025(4).
- [8] 徐孝民,李伟.产业绿色发展的减污降碳协同作用及机制:以黄河流域为例[J].中国地质大学学报(社会科学版),2025(4).
- [9] Zhang, H., Y. Wang, W. Wang. Does renewable energy technology innovation achieve the synergistic effect of pollution and carbon reduction?[J]. *Renewable Energy*, 2025, 250.
- [10] Zhu, B., G. Chen, P. Wang. Nonlinear impacts of industrial intelligence on synergistic reduction of pollution and carbon emissions: The role of technological factors[J]. *Energy Economics*, 2025, 149.
- [11] 夏学超,孙慧,杨泽东,等.环境税对降碳减污协同推进的影响研究——基于全流程技术创新视角[J].科研管理,2025(6).
- [12] 赵晓梦,魏婷,朱俊鹏.从排污费到环保税:绿色税制改革视阈下的减污降碳协同治理研究[J].中国地质大

学学报(社会科学版), 2024(3).

- [13]刘亦文, 邓楠. 环境保护税是否有效释放了四重红利效应?[J]. 中国人口·资源与环境, 2023(10).
- [14]Xian, B., Y. Wang, Y. Xu, et al. Assessment of the co-benefits of China's carbon trading policy on carbon emissions reduction and air pollution control in multiple sectors[J]. *Economic Analysis and Policy*, 2024, 81.
- [15]Li, J., G. Liu, J. Dong. Coordinated reduction effect of pollutant discharge fees on enterprises' pollutant and carbon emissions in China[J]. *Energy Economics*, 2024, 136.
- [16]任以胜, 龙一鸣, 陆林. 流域生态补偿政策对受偿地区水污染强度的影响——以新安江流域为例[J]. 经济地理, 2023(11).
- [17]夏勇, 张彩云, 寇冬雪. 跨界流域污染治理政策的效果——关于流域生态补偿政策的环境效益分析[J]. 南开经济研究, 2023(4).
- [18]Wang, Y., J. Niu, Y. Wang, et al. Pathways from payments for ecosystem services to household energy transition[J]. *Ecological Frontiers*, 2025(4).
- [19]Clifton, J., K. S. Mánez. A framework based on payments for ecosystem services to support the delivery of high integrity carbon and biodiversity credits[J]. *Ecosystem Services*, 2025, 73.
- [20]李坦, 徐帆, 祁云云. 从“共饮一江水”到“共护一江水”——新安江生态补偿下农户就业与收入的变化[J]. 管理世界, 2022(11).
- [21]夏勇, 钟茂初, 寇冬雪. 流域生态补偿试点的经济效益[J]. 世界经济, 2024(5).
- [22]张兵兵, 王圆, 申广军. 流域横向生态保护补偿与共同富裕[J]. 世界经济, 2024(4).
- [23]杜洪燕, 武晋. 生态补偿项目对缓解贫困的影响分析——基于农户异质性的视角[J]. 北京社会科学, 2016(1).
- [24]刘聪, 张宁. 新安江流域横向生态补偿的经济效应[J]. 中国环境科学, 2021(4).
- [25]马骏, 程常高, 唐彦. 基于多主体成本分担博弈的流域生态补偿机制设计[J]. 中国人口·资源与环境, 2021(4).
- [26]黄永明, 丁闻语. 跨省流域横向生态补偿政策与绿色经济发展——基于中国县域面板数据的经验研究[J]. 财政科学, 2024(8).
- [27]鹿洪源, 马婕, 陈旭东. 多主体共治视角下财政生态转移支付的民生与环境协同激励效应——以跨省流域横向生态补偿机制为例[J]. 经济经纬, 2025(4).
- [28]杨悦, 刘翼, 卢全莹, 等. 河流水污染跨区域合作治理机制研究——基于三方演化博弈方法[J]. 系统工程理论与实践, 2023(6).
- [29]王磊, 马金铭. 非正式环境规制促进农业碳减排了吗——基于社会公众环境关注的视角[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2024(6).
- [30]李子豪, 白婷婷. 政府环保支出、绿色技术创新与雾霾污染[J]. 科研管理, 2021(2).
- [31]Li, Y., S. Hao, Y. Liu, et al. Research on the spatial correlation network and its driving factors for synergistic development of pollution reduction, carbon reduction, greening, and growth in China's tourism industry [J]. *Journal of Environmental Management*, 2025, 377.
- [32]葛鹏飞, 韩永楠, 武宵旭. 中国创新与经济发展的耦合协调性测度与评价[J]. 数量经济技术经济研究, 2020(10).
- [33]Hou, M., Y. Xie, W. Lu, et al. Green finance drives the synergy of pollution control and carbon reduction in China: Dual perspective of effect and efficiency[J]. *Energy*, 2025, 330.
- [34]马光荣, 黄叙涵. 减税对经济增长的提振效应及其作用机制——基于增值税转型的研究[J]. 中国工业经济, 2023(11).
- [35]王淑贺, 刘世哲, 李晓敏. 数字经济空间关联网对减污降碳的影响机制研究[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2025(2).

- [36]吴力波,杨眉敏,孙可弢.公众环境关注度对企业和政府环境治理的影响[J].中国人口·资源与环境,2022(2).
- [37]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(8).
- [38]谌仁俊,李新月,江闯东.“共护一江水”的降碳力量:来自跨省流域横向生态保护补偿机制的实证研究[J].中国地质大学学报(社会科学版),2024(5).

Can Transboundary River Basin Ecological Compensation Policy Synergistically Advance Carbon Reduction, Pollution Control, Ecological Conservation, and Green Growth?

— Empirical Evidence from 263 Cities in China

WANG Lan, XU Ying-zhi

Abstract: With the advancement of ecological civilization construction, transboundary river basin ecological compensation policy has gradually become an important means to promote coordinated regional development and collaborative ecological and environmental governance. Using balanced panel data from 263 prefecture-level cities in China from 2011 to 2022, this paper uses the entropy weight method and a coupled coordination degree model to measure the level of coordinated development of cities' carbon reduction, pollution control, ecological conservation and green growth. Furthermore, using the transboundary river basin ecological compensation policy as an exogenous shock event, a multi-point difference-in-differences model is used to examine the impact of the transboundary river basin ecological compensation policy on carbon reduction, pollution control, ecological conservation, green growth, as well as its transmission mechanism. Findings reveal that the transboundary river basin ecological compensation policy synergistically advances urban carbon reduction, pollution control, green expansion, and growth. Mechanism tests indicate that this policy synergistically advances urban decarbonization, pollution reduction, greening, and growth through three pathways: promoting industrial structure upgrading, driving green technological innovation, and enhancing public environmental awareness. Further analysis reveals that fiscal pressure exerts a negative moderating effect on the policy's synergistic promotion of these goals, while energy conservation and environmental protection investments exert a positive moderating effect. Moreover, the synergistic promotion effect of interprovincial river basin ecological compensation policies is more pronounced in resource-based cities, cities with weaker environmental regulations, and upstream regions serving as recipient areas. Regarding compensation mechanisms, unilateral ecological compensation hinders synergistic progress, while vertical compensation and bilateral compensation facilitate the coordinated advancement of carbon reduction, pollution control, green expansion, and economic growth. This study provides empirical support and policy recommendations for optimizing ecological compensation systems and realizing the value of ecological products, promoting the deep integration of economic development and ecological protection.

Key words: transboundary river basin ecological compensation; carbon reduction, pollution control, ecological conservation and green growth; difference-in-differences method; intermediary mechanism; moderating effect

(责任编辑 孙洁)