

长江经济带发展战略促进了区域碳减排吗？

——基于双重差分模型的检验¹

闫华飞^{1, 2} 杨美^{1*} 肖静³

(1. 武汉工程大学管理学院, 湖北 武汉 430205;

2. 武汉工程大学企业与环境协调发展研究中心, 湖北 武汉 430205;

3. 华南理工大学工商管理学院, 广东 广州 510641)

【摘要】：碳减排是实现“碳中和碳达峰”目标的必要途径，长江经济带发展战略能否有效促进区域碳减排是亟待探索的待解课题。研究基于 2010 ~ 2019 年全国 30 个省份的面板数据，利用双重差分模型探究长江经济带发展战略对区域碳减排的影响及其传导机制。研究表明：(1) 长江经济带发展战略能够显著促进区域碳减排，且经过多种稳健性检验，结论依然成立；(2) 异质性分析发现，长江经济带发展战略的碳减排效应在长江经济带中、下游地区显著，而对上游地区不显著；(3) 传导机制分析表明，绿色技术创新在长江经济带发展战略和区域碳减排间发挥中介作用，中介效应值为 53.2%。

【关键词】：长江经济带发展战略；区域碳减排；绿色技术创新

【中图分类号】：X321; F127 **【文献标识码】：**A **【文章编号】：**1004-8227(2023)06-1138-14

【DOI】：10.11870/cjlyzyyhj202306003

在经济全球化、快速城镇化及工业化进程中，全球气候变暖、生态退化和资源枯竭等问题随之而来，成为人类面临的全球性挑战。中国在全球气候治理、生态环境保护中一直秉持着负责任大国的态度，党的十八大要求推进绿色低碳循环发展，十九大明确“建立健全绿色低碳循环发展的经济体系”目标。同时，作为全球最大的二氧化碳排放国，中国在第七十五届联合国大会上承诺将争取在 2030 年前二氧化碳排放达到峰值，在 2060 年前实现碳中和目标。可见，在当前新旧动能转换、经济高质量发展和实现双碳目标的关键时期，降污减排成为必然选择。然而，我国产业布局和能源消费结构的合理性尚待完善，能源消耗量持续增长，碳排放量始终居于全球前列。2021 年，中国二氧化碳排放量达 110.88 亿 t，占全球总排放量的 31%。为降低能源消耗、减少碳排放，中国开始探索通过在城市、区域层面实施绿色经济、环境保护等战略推动碳减排。

¹ 收稿日期：2022-08-02；修回日期：2022-10-28

基金项目：湖北省高等学校哲学社会科学重大项目(21ZD064)；中国高校创新创业教育改革研究基金项目 2020CCJG01Z001)

作者简介：闫华飞(1975 ~)，男，教授，主要研究方向为创业与创新管理、人力资源管理。E-mail: yhfei_2006@126.com

*** 通讯作者** E-mail: ymei0507@163.com

长江经济带是横跨我国东中西部且影响力强、经济活跃度高、发展潜力大的区域。截止 2021 年, 长江经济带地区生产总值达到 53.02 万亿元, 同比增长 8.7%, 占据全国 46.4%, 其中第二产业增加值占据全国 47.6%。此外, 长江水资源丰富, 流域内河湖、水库及湿地面积众多, 分别占据全国的 36%、20%。可见, 长江经济带在全国生态、经济等方面具有举足轻重的地位^[1]。由于长江经济带具有产业结构“重化工”和能源结构“重煤炭”等特征, 二氧化碳排放量占全国总排放的 37.5%, 并呈现增长趋势, 使得推动区域绿色低碳发展及实现碳减排目标受阻。为加快转变长江经济带产业、能源结构, 降低能源消耗和减少碳排放量, 国务院于 2014 年印发《关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》(下文简称《意见》), 指出打造“生态文明建设的先行示范带”, 将长江经济带发展战略正式上升为国家战略。2016 年, 《长江经济带发展规划纲要》进一步强调推动长江经济带发展需要坚持走生态优先、绿色发展之路。长江经济带发展战略是一个内涵丰富的综合性政策工具, 涉及转变经济发展方式、生态环境保护、区域协调发展、产业结构升级、创新驱动发展等方面, 是推进区域绿色低碳发展进而实现高质量发展的重要战略支撑。探究长江经济带发展战略与区域碳减排之间的关系不仅能够识别长江经济带发展战略在碳减排上的政策效果, 还将对后续如何更好推动长江经济带碳减排及如何实施和完善长江经济带发展战略具有重要指导意义。

1 文献回顾与研究假设

1.1 文献回顾

直接考察长江经济带发展战略与碳减排关系的文献较少, 本研究从碳减排和长江经济带发展战略两方面进行文献综述。首先, 关于对碳减排的相关研究, 现有文献主要从两方面进行论述: 一方面, 碳减排水平测度, 聚焦于全国、省区、城市及行业等中、宏观视域^[2,3], 测度方法主要基于联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)提供的参考方法。如禹湘等^[4]参照 IPCC 提供的碳排放核算方法运用焦炭、煤炭、燃料油、原油、汽油、煤油、天然气、柴油等 8 种能源消费实物量与碳排放因子结合进行估算。同时, 在对不同省份、城市及行业碳排放量或排放强度的测算中, 也分析了碳排放的空间格局和时空变化特征^[5,6]。另一方面, 学术界从各个角度探讨了影响碳减排的因素, 主要包括经济发展水平、产业结构、能源结构、技术创新、人口规模变化、财政分权及金融发展等因素^[7,8,9,10]。如邓荣荣等(2021)基于 2012~2018 年中国 285 个城市的面板数据, 采用面板回归、工具变量、中介效应等实证方法分析了数字金融发展对碳排放绩效的影响方向及其作用机理^[11]。随着研究的深入, 学者开始对某一类因素进行多层次研究, 如在考察能源因素对碳减排影响时, 不局限于能源结构的单一层面, 而是从能源价格、能源效率、能源结构等多角度开展研究^[12]。此外, 部分学者基于政策角度, 探究某一政策实施与推广对碳减排的影响。其中, 对中国碳排放交易制度的减排效果评估较为常见, 学者大多基于合成控制法或双重差分进行准自然实验, 证实碳排放交易制度的减排效果, 并在进一步研究中分析碳排放交易制度的减排路径及其对碳排放影响的空间异质性^[13]。学术界对影响碳减排的政策因素探究还包括创新型城市建设、绿色金融改革、绿色财政政策、低碳城市试点等^[14,15], 如薛飞等^[16]运用双重差分法探究了“节能减排财政政策综合示范城市”对碳减排的效应。在对政策的减排效果研究中, 也进行了机制探索, 如郭沛等^[17]发现低碳试点政策可以通过调整城市能源结构和创新水平等渠道来影响碳排放效率, 实现碳减排。

其次, 长江经济带发展战略的相关研究主题涉及经济格局演变、绿色技术创新、经济高质量发展、新型城镇化与区域协同发展等^[18,19]。但就长江经济带发展战略作为专题进行直接探讨的研究较少, 大部分文献只是对长江经济带发展战略由来进行梳理, 而对于政策实施效果研究主要从城市经济高质量发展、产业结构升级、产业集聚、城市创新能力等方面进行^[20,21], 如郭婧煜等^[22]基于我国 31 省 2007~2017 年的面板数据, 利用合成控制法实证研究了长江经济带发展战略对产业结构升级的影响, 发现长江经济带发展战略对长江经济带整体产业结构促进效应并不显著, 却在单个省份中促进作用明显。而涉及长江经济带发展战略碳减排效应的研究相对缺乏。

鉴于此, 研究基于双重差分法, 利用 2010~2019 年中国 30 个省份的面板数据, 分析长江经济带发展战略对碳减排的影响及作用机制。本研究可能的边际贡献有: (1) 在研究视角上, 区别于其它文献关注长江经济带发展战略对产业结构、产业集聚、高质量发展等经济因素的影响, 本研究从生态环境视角出发, 考察长江经济带发展战略对区域碳减排的影响; (2) 在研究内容上, 研究基于空间差异性的考虑, 分析了长江经济带发展战略对碳减排的区域异质性影响, 并从绿色技术创新角度探讨了长江经济带发展战略对碳减排的作用机制; (3) 在实践意义上, 研究为进一步实施长江经济带发展战略提供了经验支持, 并为如何促进双

碳目标的实现提供了新视角和路径。

1.2 研究假设

1.2.1 长江经济带发展战略与区域碳减排

政策工具理论认为，政策工具是政府为了将治理目标转化为治理结果而采取的措施^[23]。长江经济带发展战略作为一种政策工具，是为实现长江经济带经济持久发展和维护生态环境的重要手段。碳减排作为长江经济带生态环境的一部分，也深受长江经济带发展战略的影响。首先，长江经济带发展战略亦是我国最具影响力的区域一体化政策，其有助于打破各省市间行政壁垒，促进生产要素在区域间充分流动。一方面，生产要素的自由流动能将过剩资本向边际产出更高的地区配置，补充劳动力等短缺资源，有效改善资源错配状况，化解产能过剩。产能过剩会造成大量能源消耗与资源闲置，是环境恶化的重要原因。化解产能过剩利于降低能源消耗与资源浪费，促进环境保护与节能减排^[24]。另一方面，资源要素跨区域流动能直接加强区域之间在经济、环境保护等方面的联系。经济上，要素流动能促进产业竞争力提升与规模的扩大，形成产业集聚，提高能源资源等集中利用率，从而降低能源资源耗费，促进碳减排^[25]。环境保护上，资源与环境要素市场化，推动各省市环境的协同治理，降低环境治理和保护技术的交易成本，利于推广和应用各类节能减排技术，促进区域间碳减排能力的提升。

其次，实施长江经济带发展战略会倒逼长江经济带省市为实现节能减排目标加大环保领域投资力度。具体而言，长江经济带发展战略对长江经济带生态环境的重视会促使沿江省市的工作向环境保护倾斜，直接表现为环保投资力度的加大。在大部分学者的研究中，政府财政环保支出的加大会对降污减排产生积极作用，带来环境质量的持续性改善，在促进区域碳排放中发挥重要作用^[26]。

H1:长江经济带发展战略显著促进区域碳减排。

1.2.2 长江经济带发展战略与绿色技术创新

长江经济带发展战略是促进长江经济带绿色发展、可持续性发展的国家重大战略，其要求将生态环境保护放在发展的优先位置，并督促各地区做好规划和落实环境保护政策。基于环境保护视角，长江经济带发展战略亦是一种环境规制政策。由于绿色技术创新具有明显环境污染负外部性和知识溢出正外部性的双重特征，引致企业绿色技术创新动力不足，难以仅靠市场自身激励，需借助政府行为引导企业实现绿色技术创新^[27]。依据制度理论，企业为取得经营权利继续生存，会选择与制度环境保持一致以获得合法性^[28]。环境规制借助环保法规及其强制力限制企业排污行为，倒逼企业进行绿色技术创新以降低企业生产、经营活动对环境的负面影响。具体而言，面对环境规制的强制性约束，企业在结合自身资金及技术基础上，以节约能耗、减少污染物排放为目标，对生产线末端安装排污治理设备并加之技术改造走升级之路；更有甚者，通过对地理、技术、空间等领域的全方位资源再配置实现企业绿色转型升级来应对环境规制政策^[29]。

另一方面，长江经济带发展战略除具有环境规制作用倒逼企业进行绿色技术创新外，亦可通过加大创新资源投入促进绿色技术创新。地方政府会应战略创新驱动发展的要求加大创新要素投入，激励中小企业创新，增强城市创新活力。这主要体现在为鼓励企业绿色技术创新行为，政府采取研发补贴、减税、贴息等政策缓解企业资金不足，并推动金融活动与环境保护相结合，促进绿色金融发展，解决绿色技术创新活动的外部融资需求。基于上述分析，提出假设 2：

H2:长江经济带发展战略能促进绿色技术创新。

1.2.3 绿色技术创新的中介作用

环境经济学认为，能源消费是造成环境污染的直接原因，以煤炭为主的化石燃料燃烧是生产过程中产生碳排放的主要因素之一^[30]。中国过去较长时间内采取的高污染、高能耗的粗放式经济增长模式导致资源浪费、碳排放量急剧增加、环境恶化等现象，这其中包括以工业为主的长江经济带地区。为修复和改善流域生态环境，长江经济带发展战略必会发挥环境规制作用，限制流域内工业企业排污行为及能耗。而企业为遵循环境法规获得政府认可，将选择实施绿色技术创新改善或更新自己产品、工艺等，以实现政策要求的节能减排目标。从信息传递视角看，在战略不断促进长江经济带生态文明建设的环境下，民众对于绿色产品的消费需求也会促进绿色技术创新。由环境规制与消费者绿色消费需求共同促进的绿色技术创新，会通过提高绿色生产率、增强溢出效应、促进成本节约与专业化分工等途径降低区域碳排放强度，并通过绿色生产技术改善以煤炭为主的能源结构，在使用清洁替代能源、降低能耗的同时，减少流域内碳排放。然而，也有研究者认为绿色技术创新会加剧碳排放而引起环境污染，并把这一现象归结为能源“回弹效应”^[31]。尽管提升绿色技术创新能提高能源利用率从而降低能耗、节约资源，但也可在提高能源利用效率时降低产品单位生产成本和价格，引致市场需求和消费增长，使得由提高绿色技术创新而节约的能源被额外消费所耗费的能源抵消^[32]。因此，绿色技术创新对区域碳减排的影响最终取决于其减排效应与能源回弹效应之间的角力。故提出假设 3：

H3: 长江经济带发展战略能通过绿色技术创新影响区域碳减排。

综上所述，绘制出长江经济带发展战略、绿色技术创新与区域碳减排三者之间的理论框架图，具体如图 1 所示。

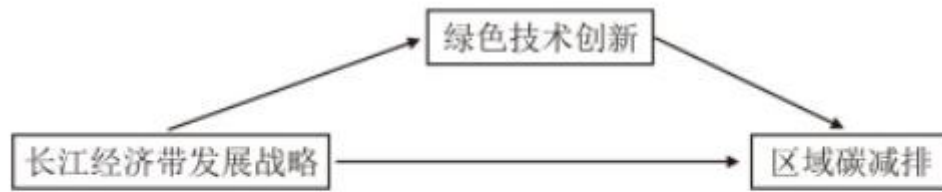


图 1 理论框架图

Fig. 1 Theoretical framework

2 研究设计

2.1 计量模型的设定

研究采用双重差分法 (DID) 评估长江经济带发展战略在区域碳减排实践中的政策效应，具体回归模型设置如下^[33]：

$$\ln CO_{2it} = \varphi_0 + \varphi_1 time \times process + \varphi_2 X + \omega_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

在上述回归模型中，全面检验了长江经济带发展战略对沿线省市 CO₂ 排放强度的影响，其中，下标 i 表示省份，t 为年份。受长江经济带发展战略影响的省份，process 为 1，否则为 0。time 在 2014 年及以后，取值为 1，否则为 0。time×process 的系数观察的是受战略影响的省份在政策期间相对于不受政策影响的其它省份 CO₂ 排放强度的平均变化。X 是一组控制变量：外商直接投资、贸易开放度、城镇化率、产业结构、能源结构。ω_i 是地区固定效应，δ_t 是年份固定效应。φ₁ 是研究重点观察的系数，如果 φ₁ 显著为负，可以判断出 2014 年实施的长江经济带发展战略在降低 CO₂ 排放强度方面是有效的。

研究对绿色技术创新 (gin) 的中介效应进行了检验，借鉴温忠麟等^[34]的研究成果，在方法上先用逐步回归法进行检验，再用

Sobel 及 Bootstrap 加以验证。具体模型如下：

$$gin_{it} = \theta_0 + \theta_1 time \times process + \theta_2 X + \omega_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \tag{2}$$

$$\ln CO_{2it} = \gamma_0 + \gamma_1 time \times process + \gamma_2 gin_{it} + \gamma_2 X + \omega_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \tag{3}$$

式中：ginit 代表绿色技术创新，为验证绿色技术创新是否在区域碳减排过程中发挥了中介作用，在式(1)成立前提下，首先要检验参数 θ_1 和 γ_2 是否显著，在两者显著性条件下，再依据 γ_1 的显著性判断部分或完全中介效应；若 θ_1 和 γ_2 有一个不显著，则采用 Sobel 及 Bootstrap 进行验证。各参数中， $\theta_1 \times \gamma_2$ 为中介效应值。

2.2 变量测量及数据来源

2.2.1 变量测量

(1)被解释变量：

碳排放强度。碳排放强度为地区碳排放总量与地区生产总值(GDP)的比值。根据已有研究成果，选取原煤、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油及天然气等八种化石能源测算除西藏以外各省份的碳排放强度^[35]。具体测算公式为：

$$co_2 = \sum_{i=1}^8 E_i \times SCC_i \times CEC_i \times 44/12 \tag{4}$$

$$CO_2 = co_2 / GDP \tag{5}$$

式中：co2 表示测度的碳排放量；Ei 为第 i 种能源的消费量；SCCi 代表第 i 种能源的标准煤折算系数；CECi 是由 IPCC 提供的第 i 种能源的碳排放系数；44/12 为 CO2 中碳含量的分子比例。CO2 为碳排放强度。表 1 为各能源折算标准煤系数及碳排放系数。

表 1 8 种能源的标准煤折算系数与碳排放系数

能源种类	原煤	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气
标准煤折算系数 (SCC)	0.714 3	0.971 4	1.428 6	1.471 4	1.471 4	1.457 1	1.428 6	1.330 0
碳排放系数 (CEC)	0.755 9	0.971 4	0.585 7	0.553 8	0.571 4	0.592 1	0.618 5	0.448 3

注：标准煤折算系数单位为 kg 标准煤/kg，碳排放系数单位为 kg/kg 标准煤，天然气折标系数为 kg 标准煤/m³。

(2)核心解释变量：

研究选用所观察省份是否受长江经济带发展战略的影响情况作为核心解释变量，运用时间虚拟变量 time 和分组虚拟变量 process 的乘积表示。2014 年为政策实施年，如果一个地区在 2014 年及以后实施了长江经济带发展战略，则作为处理组赋值为 1。本研究有 11 个省份在 2014 年及以后实施了长江经济带发展战略，而剩下没有实施战略(除西藏以外)的 19 个省份则作为对照组赋值为 0。

(3)中介变量：

绿色技术创新(gin)。基于绿色技术创新视角，绿色专利申请量越多，表明城市的绿色创新意愿与创新活力更强。研究选用绿色专利申请量衡量绿色技术创新。

(4)控制变量。

根据现有研究，为控制其它因素对碳排放强度的影响，引入外商直接投资、贸易开放度、城镇化率、产业结构和能源结构等控制变量，具体来说：①外商直接投资(fdi),外商直接投资会带来溢出、竞争或污染效应影响碳减排，采用各地区实际利用外资投资金额与各地区生产总值之比衡量^[36]。②贸易开放度(tra),贸易开放度在一定程度上能对东道国的环境产生影响，存在着“环境收益”和“向底线赛跑”两种假说，选取各地区进出口总额占 GDP 比值来表征^[37]。③城镇化率(ur),城镇化的快速推进中引起的能源消耗是碳排放问题的重要来源，用城镇人口占地区总人口的比衡量^[38]。④产业结构(ins),用第二产业增加值与地区生产总值之比表示，第二产业是以大量能源消耗量和碳排放水平较高的行业为主，其占比大小对碳排放强度具有重要影响。⑤能源结构(est),煤炭燃烧是碳排放的重要渠道，研究用煤炭消费量占八种能源消费量的比重衡量^[39]。

2.2.2 数据来源及变量的描述性统计

以 2010~2019 年全国 30 个省市的面板数据为研究样本，西藏数据缺失较多，故剔除。其中，能源消耗量来自《中国能源统计年鉴》，绿色专利数据是整合国家知识产权局专利信息，按世界知识产权组织(WIPO)在 2010 年发布的《绿色专利清单》整理得出。其它数据主要来源于国家统计局及《中国统计年鉴》。上述数据中，部分缺失值采用插值法补全。表 2 报告了各变量的描述性统计，处理组的碳排放强度均值明显低于对照组，表明处理组整体上的碳减排效果要高于对照组，但这是否是由长江经济带发展战略所引起的还需进一步论证。

表 2 变量的描述性统计

变量	全样本			对照组			处理组		
	样本量	均值	标准差	样本量	均值	标准差	样本量	均值	标准差
lnCO2	300	0.699	0.721	190	0.924	0.753	110	0.311	0.448
fdi	300	0.024	0.022	190	0.022	0.026	110	0.027	0.013
ur	300	0.577	0.126	190	0.583	0.118	110	0.566	0.137
tra	300	0.274	0.285	190	0.267	0.258	110	0.285	0.326
ins	300	0.419	0.081	190	0.411	0.091	110	0.433	0.058
est	300	0.670	0.309	190	0.717	0.350	110	0.590	0.197
lngin	300	7.718	1.360	190	7.390	1.375	110	8.28	1.130

2.3 实证结果与稳健性检验

2.3.1 碳排放强度

为更清楚了解和分析长江经济带 11 省市及其它各省市碳排放强度变化情况,研究将 2010、2014、2019 年碳排放强度呈现在表 3 中进行具体分析。从静态分布上看,截止 2019 年,北京、河南、福建、广东、上海等 12 省市碳排放强度已下降到 1 以下,天津、广西、海南、青海、安徽等 7 省市区碳排放强度处于 1~2 之间,河北、吉林、山东等 7 省碳排放强度在 2~4 之间,而山西、内蒙古、宁夏、新疆 4 省区碳排放强度高于 4。这一变化情况说明,经历 10 年的发展,我国各省市逐渐步入低碳发展模式,碳排放强度均有所降低,且长江经济带 11 省市碳排放强度大部分低于 1,总体显现长江经济带碳减排效果良好。从动态分布上看,2010~2019 年间,东部各省份年均降幅在 7.2%,略大于中部的 6.2%、西部的 6.8%,呈现东中西部碳减排的差异性。长江经济带 11 省市在 2010~2019 年的年均降幅基本维持在 10%,远高于其它省市区的 5%。此外,在 2014~2019 年间,长江经济带 11 省市碳排放强度的年平均降速普遍高于 8%,而其它省市区基本低于 6%,这与本研究假设一致,具体情况还待后续实证检验。

进一步的,本研究将长江经济带 11 省市 2010~2019 年的碳排放强度情况单独呈现在图 2 的折线图中。根据图 2,从整体来看,11 省市在样本期内碳排放强度呈下降趋势。其中,重庆、贵州、江苏年均降幅最大,在 12%左右,安徽、云南、湖北次之,但均不低于 10%,其它各省份年均降幅维持在 8%。从各省市对比来看,贵州碳排放强度与其它各省市差距较大,但逐年缩小,其与最低省份的差值已从 2010 年的 3.8 缩小到 2019 年的 1.1。云南在 2014 年以前,碳排放强度一直高于除贵州的其于省市,差值较大,但 2014 年有了较大幅度下降,并在 2014 年以后,碳排放强度基本与其它排放强度较低省份持平。安徽在 2010~2014 年间,与大部分强度较低的省市相比,差距仍较大,但 2014 年后,差值逐渐缩小。湖北也自 2013 年开始逐渐缩小与其余各省市差距,碳排放强度与大部分省市基本保持一致。由此可看出长江经济带碳排放强度在整体下降趋势中也逐渐趋同,尤其在 2014 年以后,各省份协同下降趋势更为明显。这说明长江经济带发展战略的实施,能促进 11 省市碳减排能力的协同发展。

表 3 2010、2014、2019 年各省区市碳排放强度

省市区	2010 年	2014 年	2019 年	省市区	2010 年	2014 年	2019 年
北京	0.852	0.452	0.219	甘肃	4.448	3.309	2.437
天津	2.621	1.883	1.279	青海	3.327	2.900	1.731
河北	4.669	3.621	2.733	宁夏	8.416	8.331	8.386
山西	6.787	6.895	6.601	新疆	5.029	5.990	4.453
内蒙古	7.571	6.649	6.301	上海	1.503	1.003	0.680
辽宁	4.987	3.600	3.402	江苏	2.652	1.248	0.857
吉林	3.998	2.766	2.078	浙江	1.598	1.095	0.723
黑龙江	4.198	3.053	2.713	安徽	3.448	1.780	1.167
福建	1.529	1.143	0.758	湖北	2.288	1.287	0.837
山东	3.294	2.522	2.156	湖南	1.944	1.192	0.804
河南	2.752	1.834	0.978	重庆	1.887	1.049	0.591

广东	1.266	0.892	0.612	四川	1.880	1.265	0.632
广西	2.089	1.733	1.260	贵州	5.334	3.170	1.690
海南	2.465	1.736	1.284	云南	3.219	1.679	1.103
陕西	3.485	2.813	2.064	江西	1.908	1.367	0.988

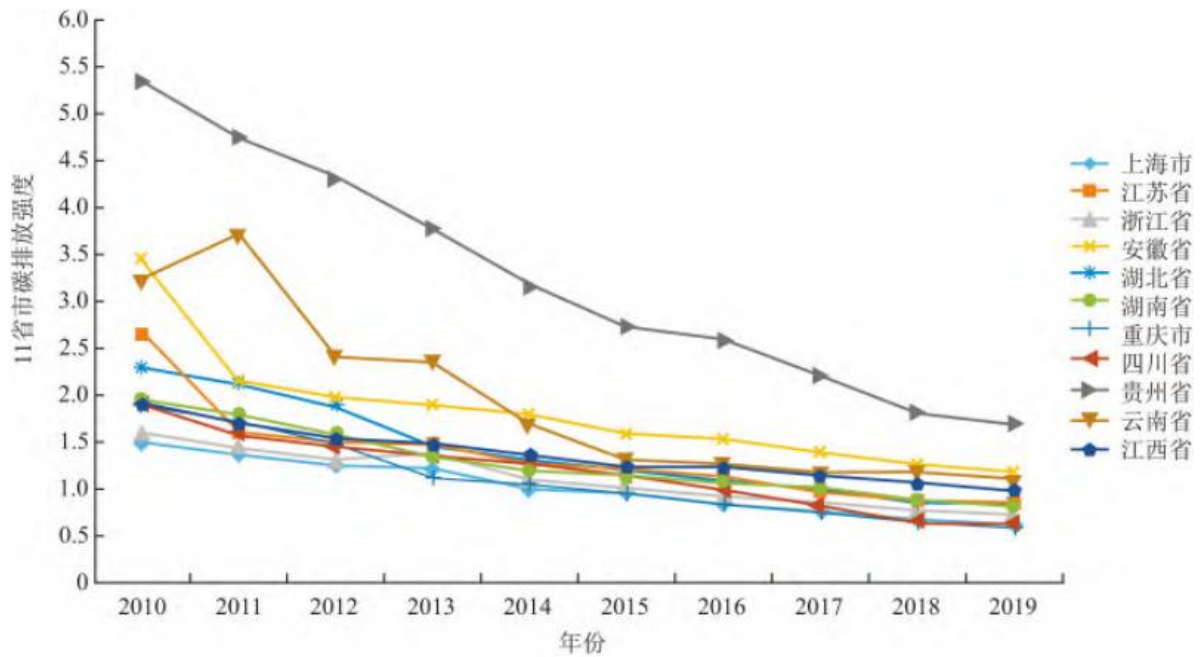


图 2 长江经济带 11 省市碳排放强度情况

Fig. 2 Carbon emission intensity of 11 provinces and cities in Yangtze River Economic Belt

2.3.2 共同趋势检验及政策动态效应

运用双重差分评估政策效果基本前提是处理组与对照组要在政策实施之前具有共同发展趋势。研究参考张国建等^[40]做法，选用事件研究法检验共同趋势并分析政策动态效应，构建模型如下：

$$\begin{aligned}
 \ln \text{CO}_{2it} = & \alpha_0 + \sum_{n=1}^4 \alpha_{\text{pre}_n} P_{\text{pre}_n} + \alpha_{\text{current}} P_{\text{current}} + \\
 & \sum_{n=1}^4 \alpha_{\text{post}_n} P_{\text{post}_n} + \varphi_2 X + \\
 & \omega_i + \delta_t + \varepsilon_{it}
 \end{aligned} \tag{6}$$

研究选用政策实施前后 4 年为样本，式 (6) 中， P_{pre_n} 、 $P_{current}$ 、 P_{post_n} 分别代表长江经济带发展战略实施之前年份、实施年份、实施之后年份的虚拟变量与其对应政策虚拟变量的交乘项， α_{pre_n} 、 $\alpha_{current}$ 、 α_{post_n} 是相应的系数，其它参数的含义与式 (1) 相同。回归结果如图 3 所示，空心点表示估计系数 α_n 的大小，直线上下区间表示 95% 的置信区间，研究将战略实施前三期即 pre_3 作为基准组，故图中没有 pre_3 的数据。根据图 3，可以看出在长江经济带发展战略实施之前年份中，对应系数均不显著异于 0，未通过显著性检验；直到政策实施年份，系数才开始显著，这说明在 2014 年以前，处理组与对照组碳排放强度的变动趋势满足共同趋势假设。同时，从动态效应看，估计系数从 2014 年开始逐年增大，意味着长江经济带发展战略对碳减排的促进效应逐渐显现。

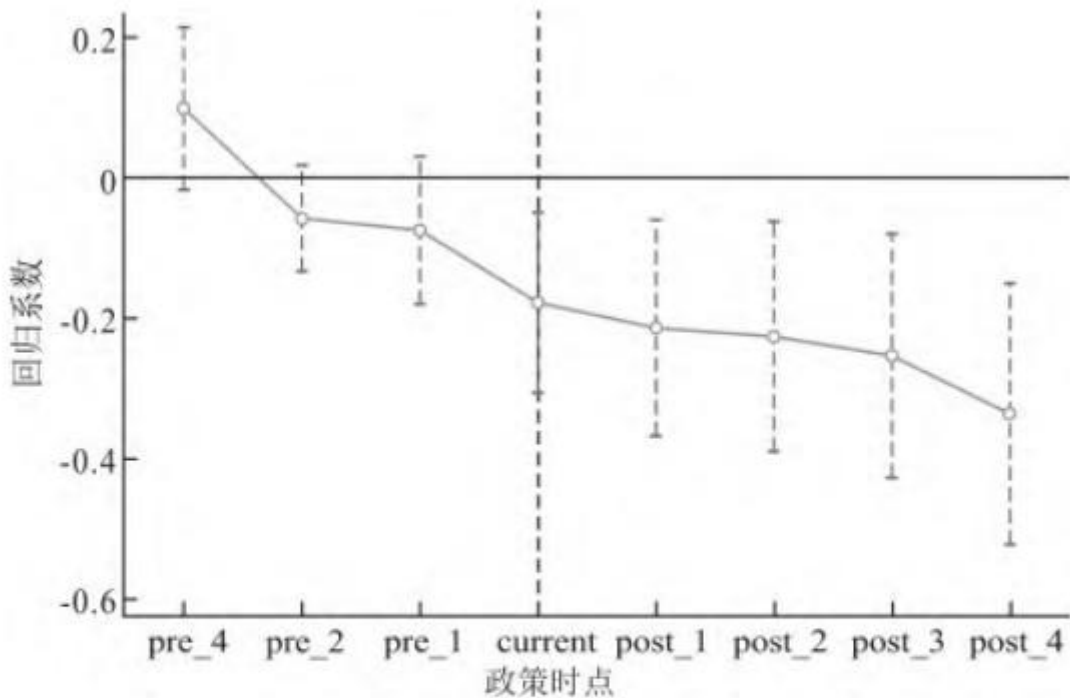


图 3 共同趋势检验与政策动态效应分析
Fig. 3 Common trend test and policy dynamic effect analysis

2.3.3 基准回归

表 4 第 (1)、(2) 列显示了长江经济带发展战略对碳减排影响的基准回归结果，均控制了个体和年份固定效应。可以看出，未加入控制变量时，估计系数为 $-0.249 (p < 0.01)$ ，加入控制变量后，估计系数为 $-0.155 (p < 0.01)$ ，均表明长江经济带发展战略能显著降低碳排放强度，相比于未实施长江经济带发展战略的省份，战略实施省份碳排放强度降低 15.5%，假设 H1 得到验证。此结果说明长江经济带发展战略的实施会在实施区域产生显著的正外部性，比如战略所强调的经济一体化意味着经济活动在固定区域内聚集，有利于共享投入要素，提高生产效率，降低总的能源消耗，正向影响节能减排^[41]。

对于控制变量，城镇化率与能源结构的回归系数都显著为正，这表明城镇化率的提高会在 10% 的显著水平上加剧碳排放强度，不利于区域碳减排。这可能是城镇人口规模的扩张会加大能源需求，加剧资源浪费，导致化石能源消耗增加，环境污染加重，促进二氧化碳排放^[42]。而以煤炭为主的能源结构也不利于碳减排。学术界对外商直接投资与环境污染的关系大致围绕“污染避

难所”与“污染晕轮”两种假说探讨，本研究中外商直接投资系数在 10%的水平上显著为负，说明其对碳减排具有正向影响，可归结为后一种假说，认为 FDI 可以借引进国外先进技术和清洁环保产品改善生态环境，作用于碳减排^[43]。贸易开放度正向影响碳减排，但不显著。根据“环境收益”假说，贸易开放可以通过让国内企业吸收国外先进技术、管理经验及规范的国际环境标准而改善国内产业、经济结构，提升技术和环境标准，达到降低能源消耗，减少环境污染的目的^[44]。产业结构回归系数在 1%的水平上显著为负，主要是以重工业为主的工业化致使大量化石能源消耗与污染排放，而减少第二产业占比，优化产业结构能降低碳排放。

表 4 基准回归结果与稳健性检验结果

变量	lnCO2				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
time×process	-0.249***	-0.155***	-0.134***	-0.164***	-0.153***
	(0.029)	(0.023)	(0.024)	(0.023)	(0.023)
fdi		-0.765*	0.242	-0.794	-0.696
		(0.442)	(1.378)	(0.443)	(0.442)
ur		1.079*	-1.518*	1.157*	0.737
		(0.506)	(0.663)	(0.507)	(0.535)
tra		-0.068	0.134	-0.088	-0.078
		(0.118)	(0.131)	(0.118)	(0.118)
ins		-0.956***	-0.995*	-0.950***	-0.935***
		(0.269)	(0.403)	(0.270)	(0.269)
est		1.157***	1.226***	1.142***	1.149***
		(0.093)	(0.145)	(0.093)	(0.094)
低碳城市试点政策					-0.080*
					(0.047)
碳排放交易试点政策					-0.030
					(0.045)
省份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
常数项	1.075***	0.205	1.261***	0.179	0.588*
	(0.021)	(0.258)	(0.341)	(0.259)	(0.288)

N	300	300	190	300	300
R2	0.822	0.902	0.945	0.903	0.906
adj. R2	0.795	0.886	0.933	0.886	0.889

注：括号中为对应的标准误，*，**，***分别代表在 10%、5%和 1%水平下显著，下同。

2.3.4 稳健性检验

(1) 替换对照组与被解释变量的衡量方式

研究选取与长江经济带 11 省市相邻的 8 省作为新的对照组，处理组不变，采用式(1)进行回归，观察回归结果是否与基准回归一致，具体见表 4 第(3)列。可以看出， $\text{time} \times \text{process}$ 回归系数 -0.134，在 1%的水平上显著为负，这与前文主效应的结果保持一致。此外，研究选用碳排放量的对数值代替原有的被解释变量进行回归分析，结果如表 4 第(4)列所示，长江经济带发展战略对碳减排效应仍然显著。以上结果说明基准回归结果具有稳健性。

(2) 剔除其他碳减排政策的影响

为实现某一经济目标，国家往往会出台多个相关政策，形成政策交叉或并行。除了长江经济带发展战略外，其它有关碳减排的政策也可能对碳排放强度造成影响，从而使估计结果产生偏差。为剔除其它碳减排政策对研究结果的影响，本研究将 2010 年开展的低碳城市试点政策、2011 年实施的碳排放交易试点政策的政策虚拟变量加入到基准回归方程中进行分析。因低碳城市试点地区绝大部分是地级市，本研究只选择了 2010 年第一批和 2012 年第二批在省级层面推广的地区，而碳排放交易试点城市选择了 2011 年开展碳排放交易试点的 6 省市，包括北京、上海、天津、重庆、湖北、广东等。回归结果如表 4 的第(5)列所示，可以看出，在考虑其它碳减排相关政策后， $\text{time} \times \text{process}$ 的系数为 -0.153，仍在 1%的水平上显著为负，表明长江经济带发展战略显著促进了区域碳减排，与上文基准回归结果一致。但系数绝对值有所下降，说明长江经济带发展战略碳减排效果受到了其它政策干扰，产生了政策叠加效应。

(3) 安慰剂检验

为进一步检验本研究结果是否由一些不可观测因素所引起，采用随机抽取实施省份的方法进行安慰剂检验。具体地，研究从 30 个省份中，通过 Stata16.0 随机抽取 11 个省份作为处理组，其它省份为对照组，并按式(1)进行回归。经过 500 次的随机抽取，研究将 500 次随机分配后估计系数分布及其相关 p 值绘制到图 4，左边垂直虚线为双重差分实际估计值。可以发现，估计系数 $\text{time} \times \text{process}$ 的值都集中分布在 0 点附近，相关 P 值大多大于 0.1，且实际估计值远小于估计系数均值 -0.000 2，为明显异常值。因此，研究结果不太可能由不可观测因素驱动。

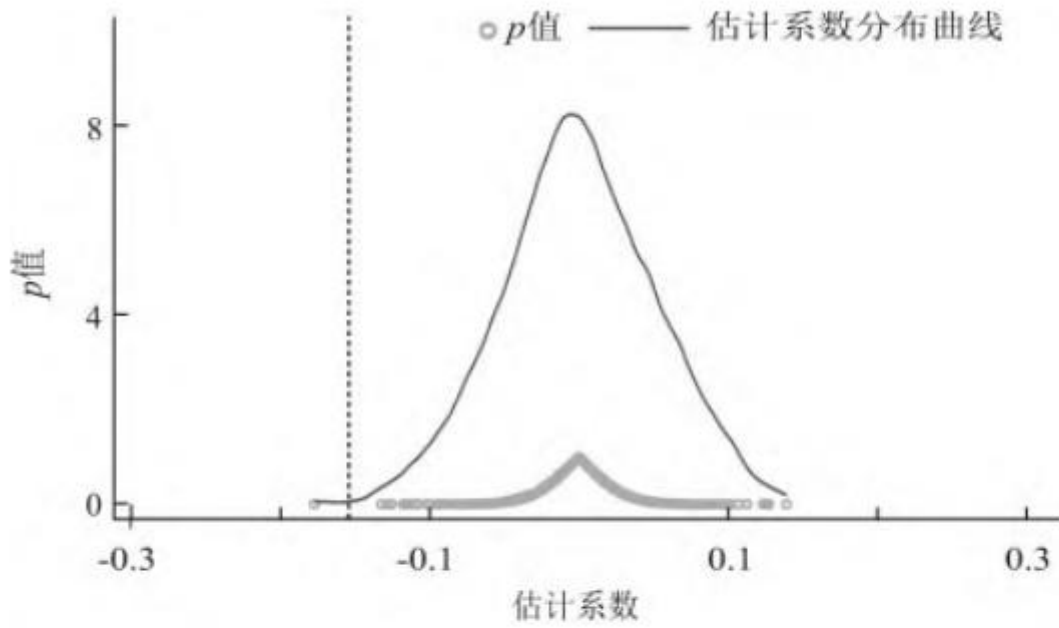


图 4 安慰剂检验

Fig. 4 Placebo test

(4) 合成控制法

合成控制法是通过构造一个与处理组变化趋势一致的受政策干预的“反事实”控制组，即合成控制对象，模拟 11 省市在不实施长江经济带发展战略的碳减排情况，以对比该项政策实施效果。由于本研究不只有一个实验单元，故参照已有研究，通过对全部受到长江经济带战略影响省份的各项指标取均值的方法将多个实验单元形成新的分析单元作为处理组，其它省份则为对照组。研究定义 $Clitit1$ 为省份 i 在时间 t 受到战略影响的碳排放强度数据， $COitit0$ 为省份 i 在时间 t 没有受到战略影响的碳排放强度数据。选取 2014 年作为政策实施年，则在 2014 年以前， i 地区的碳减排没有受战略影响，即 $Clitit1=COitit0$ ；而在 2014 年以后，长江经济带发展战略对地区 i 的碳减排效应可表示 $E=Clitit1-COitit0$ 。对于实施战略的省份 i 而言，其碳排放强度 $Clitit1$ 可以直接观测，而其未实施战略时的碳排放强度在 2014 年以后是无法观测的。由此，借鉴 Abadie 等[45]测算方法，将模型设置为如下：

$$C_{it}^0 = \delta_t + \beta_t X_i + \lambda_t \omega_i + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

式中： δ_t 是时间固定效应； X_i 表示城市 i 可观测的控制变量，为与前文保持一致，控制变量选择不变； λ_t 表示无法观测的公共因子变量； ω_i 是个体固定效应，两者相乘为互动固定效应； ε_{it} 表示随机扰动项。

具体结果如图 5。从图中可看出，在垂直虚线左侧，实际处理组（即长江经济带 11 省市）与其合成的控制组近乎重合，差异度较小。这说明合成控制对象较好拟合了碳排放强度变化路径。在虚线右侧，二者出现偏离，合成控制对象的碳排放强度总是高于长江经济带，两者的差值正是长江经济带发展战略对碳减排影响的政策效应，表明与假设没有实施长江经济带发展战略的处理组比，实施长江经济带发展战略能促进处理组的碳减排效应。这一验证说明上文结论具有稳健性。

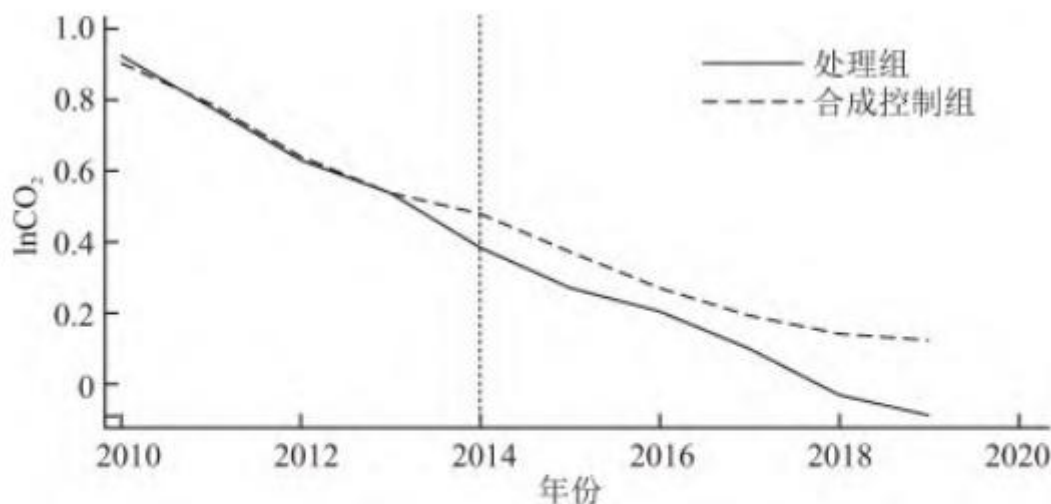


图 5 合成控制法检验结果

Fig. 5 Test results of synthetic control method

3 进一步分析

3.1 异质性

为探究长江经济带发展战略在沿线不同区域碳减排效应的差异性，研究将实施长江经济带发展战略的 11 省市按所处河段位置分为上游(重庆、四川、贵州、云南)、中游(安徽、江西、湖北、湖南)、下游(上海、江苏、浙江)3 个地区，并以此构成 3 个不同处理组。同时，选取的对照组不变，则依次与对照组回归的结果见表 5。依据表 5 可看出，在纳入控制变量后，回归系数分别为 $-0.071 (p>0.1)$ 、 $-0.136 (p<0.01)$ 、 $-0.280 (p<0.01)$ ，表明长江经济带发展战略对上游地区碳减排未发挥显著促进作用，但对中、下游地区产生了显著正向影响。由此可见，长江经济带发展战略对碳减排的正向促进作用从下游向上游依次递减，表现出显著的区域异质性特征。

研究认为，就上游省市而言，大多位于经济发展基础较弱、技术水平相对不高的西部地区，其在节能减排技术、清洁能源技术等创新方面还有待提高，虽有政策刺激，但因其本身发展基础薄弱，想要快速转变原有生产方式，采用清洁生产还需政策进一步扶持；中游省份大多承接了下游省市产业转移，导致产业结构不合理、能源消耗量大及污染较为严重等问题。而长江经济带发展战略对生态环境的要求将促使当地政府为降低能源消耗，减少污染物排放而强化环境规制，增强绿色创新，从而达到减少碳排放量，实现碳减排效果。下游省市因其科技、人才、资金等优势，有条件调整产业、能源结构，发展低耗能的高技术产业，使得二氧化碳排放强度处于较低水平，再加上政策的冲击，让碳减排效应更为明显。

3.2 影响机制

上述研究表明，长江经济带发展战略与碳排放强度之间存在负向线性关系，但长江经济带发展战略影响碳减排的作用路径仍需进一步研究。基于本研究的理论框架，长江经济带发展战略可能通过绿色技术创新影响碳减排。根据公式(1)到(3)得到绿色技术创新的中介效应检验结果。具体如表 5 所示。

在列(6)中，系数 $\text{time} \times \text{process}$ 为 $0.152 (p<0.05)$ ，意味着长江经济带发展战略的实施能提高绿色技术创新。这说明长江经

经济带发展战略不仅强化了创新驱动发展的作用,更遵循了生态优先、绿色发展的目标定位。具体而言,自战略实施以来,政府越发重视对生态环境的保护与治理,并随之提高环境规制程度,这加剧企业所面对的制度环境压力。尤其是对污染强度大的企业来说,更是面对高额的环保税,甚至面临着可能被关停整顿的风险,这就对企业形成“倒逼效应”,迫使企业为治理污染进行绿色技术创新,通过改善产品质量和生产工艺,提升区域整体绿色技术创新能力。列(7)表明在控制了政策实施前提下,绿色技术创新未能显著促进碳减排,但逐步回归法检验力较低,比较容易产生不显著的结论。因此,单纯运用逐步回归法无法准确验证绿色技术创新的中介效应。进一步地,运用 Sobel 与 Bootstrap 法进行检验,发现在 Sobel 检验中,Z 的绝对值为 6.708 ($P < 0.01$),通过显著性检验;而用 Bootstrap 重复取样 2000 次后,得到置信区间 $[-0.335, -0.194]$,不包括 0,且与式(3) γ_1 同号,中介效应存在,表明绿色技术创新在长江经济带发展战略对碳减排促进作用中起到部分中介作用,中介效应值为 53.2%。由此, H2, H3 均得到验证。

表 5 异质性与影响机制分析结果

变量	lnCO2			(6)	(7)
	上游	中游	下游	lngin	lnCO2
time×process	-0.071	-0.136***	-0.280***	0.152**	-0.153***
	(0.039)	(0.030)	(0.036)	(0.065)	(0.023)
fdi	-0.881*	-1.311**	-1.201**	0.929	-0.755*
	(0.443)	(0.423)	(0.456)	(1.258)	(0.443)
ur	1.901***	2.748***	1.909***	4.728***	1.132**
	(0.545)	(0.549)	(0.569)	(1.440)	(0.517)
tra	0.085	-0.027	0.020	-0.119	-0.069
	(0.138)	(0.135)	(0.139)	(0.335)	(0.118)
ins	-0.856**	-0.833**	-0.747**	1.407*	-0.940***
	(0.280)	(0.261)	(0.279)	(0.767)	(0.272)
est	0.953***	1.014***	1.085***	-1.147***	1.144***
	(0.102)	(0.094)	(0.097)	(0.265)	(0.022)
lngin					-0.011
					(0.022)
省份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
常数项	-0.188	-0.560*	-0.189	4.368***	0.254
	(0.281)	(0.282)	(0.288)	(0.736)	(0.276)

N	220	230	230	300	300
R2	0.877	0.895	0.899	0.863	0.902
adj. R2	0.853	0.875	0.880	0.840	0.885

4 结论与讨论

4.1 研究结论与建议

基于长江经济带发展战略影响碳减排的理论分析，采用 2010~2019 年全国 30 个省份面板数据，借助双重差分和中介效应检验方法实证分析了长江经济带发展战略对区域碳减排的影响及作用机制。研究发现：第一，从整体效果来看，长江经济带发展战略对区域碳减排具有显著促进作用；第二，长江经济带发展战略会通过绿色技术创新间接影响碳减排，且绿色技术创新所发挥的中介作用明显；第三，地区异质性结果分析表明，由于不同省市所处地域与自身现有经济发展基础、水平及速度等差异，长江经济带发展战略对区域碳减排的影响也具有明显地区差异。战略显著降低了中下游地区碳排放强度，而上游地区并未显著受到战略影响。总体而言，研究证实了长江经济带发展战略对区域碳减排的积极影响，这为政策制定者进一步推进碳减排提供了理论与现实依据，相关政策建议如下：

(1)应进一步推进实施长江经济带发展战略，充分发挥战略对碳减排的积极影响，促进长江经济带各地区碳排放强度的持续性下降。首先，应不断消除区域壁垒，加强各地区在生态环境保护、绿色发展等方面的合作，以形成降低碳排放强度，促进碳减排效应的联动机制；其次，要促进区域经济一体化建设，让人才、资金、技术等生产要素充分流动，促进要素合理配置，持续化解产能过剩，和促进产业结构升级优化，发挥结构升级的碳减排作用；最后，应加大环保投资力度，积极治理和改善流域内生态环境，不断降低污染物排放和强度，为实现区域碳减排目标提供坚实的物质基础。

(2)应注重发挥绿色技术创新的中介作用，推进实现区域碳减排目标。由于绿色技术创新的中介效应占比较高，政府在实施长江经济带发展战略时，要加大对绿色技术创新投入强度及创新成果转化力度，夯实绿色技术对降低碳排放强度的创新基石。具体可通过加大对绿色技术创新研究补贴、积累生态环境领域内人才，为绿色技术创新提供资金、人才保障，并将政府政策向绿色创新成果转化适度倾斜。尤其是要重点支持清洁生产技术的研发运用，推动建立一体化技术交易市场、孵化中心及平台，不断加快绿色技术创新成果价值化和市场化。同时，也可通过加强区域合作创新、加快技术转移等方式提升绿色技术创新的应用能力。

(3)在加大实施长江经济带发展战略的同时应关注长江经济带上、中、下游地区差异性，促进区域协调性发展。由于长江经济带发展战略对碳减排的影响在中下游地区显著，在上游地区不显著，因此应发挥下游地区在碳减排中的示范作用，扩大碳减排影响范围及强度。中游地区在抓住经济发展机遇的同时，应注重对生态环境的保护，促进产业转型升级，降低煤炭作为能源来源比例。上游地区经济发展基础相对落后，在技术方面相对薄弱，政府应加大政策支持，加强基础设施建设，积累发展的要素资源，提高绿色技术创新能力，使长江经济带发展战略的碳减排效应真正发挥出来。

4.2 研究局限与展望

虽然本研究所有研究假设均得到验证，研究结果也通过了多种稳健性检验，但受限于研究条件，依然存在局限性。第一，研究对象存在局限。本研究从省域层面探究长江经济带碳减排状况，但要想更为清楚的了解长江经济带碳减排情况及省市内部差异，未来可从城市层面进行探究。第二，中介机制研究不全。长江经济带发展战略对区域碳减排的影响可能存在多种路径，而本研究只证实了绿色技术创新在长江经济带发展战略与区域碳减排之间的部分中介作用，未来可以寻找其它变量来研究长江经济带发展战略对区域碳减排的作用机制。

参考文献

- [1] 李金华. “十四五”规划背景下长江经济带发展的政策、格局与路径[J]. 财贸经济, 2022, 43(4):129-146. LI J H. Policy, pattern and path of the development of the Yangtze River economic belt under the background of the 14th five-year plan[J]. Finance&Trade Economics, 2022, 43(4):129-146.
- [2] RAN L, LU X X, YANG H, et al. CO₂ outgassing from the Yellow River network and its implications for riverine carbon cycle[J]. Journal of Geophysical Research:Biogeosciences, 2015, 120(7):1334-1347.
- [3] CHENG Z, LI L, LIU J, et al. Total-factor carbon emission efficiency of China's provincial industrial sector and its dynamic evolution[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018, 94:330-339.
- [4] 禹湘, 陈楠, 李曼琪. 中国低碳试点城市的碳排放特征与碳减排路径研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(7):1-9. YU X, CHEN N, LI M Q. Research on carbon emission characteristics and reduction pathways of low-carbon pilot cities in China[J]. China Population Resources and Environment, 2020, 30(7):1-9.
- [5] 刘贤赵, 高长春, 张勇, 等. 中国省域能源消费碳排放空间依赖及影响因素的空间回归分析[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(10):1-6. LIU X Z, GAO C C, ZHANG Y, et al. Spatial dependence of China's provincial carbon emissions from energy consumption and its spatial regression analysis[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016, 30(10):1-6.
- [6] 张卓群, 张涛, 冯冬发. 中国碳排放强度的区域差异、动态演进及收敛性研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2022, 39(4):67-87. ZHANG Z Q, ZHANG T, FENG D F. Study on regional differences, dynamic evolution and convergence of carbon emission intensity in China[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2022, 39(4):67-87.
- [7] 郭丰, 杨上广, 任毅. 数字经济、绿色技术创新与碳排放——来自中国城市层面的经验证据[J]. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版), 2022, 51(3):45-60. GUO F, YANG S G, REN Y. The digital economy, green technology innovation and carbon emissions: Empirical evidence from Chinese city-level data[J]. Journal of Shaanxi Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition), 2022, 51(3):45-60.
- [8] ZHANG S, LIU X, BAE J. Does trade openness affect CO₂ emissions: Evidence from ten newly industrialized countries?[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2017, 24(21):17616-17625.
- [9] 张华明, 元鹏飞, 朱治双. 中国城市人口规模、产业集聚与碳排放[J]. 中国环境科学, 2021, 41(5):2459-2470. ZHANG H M, YUAN P F, ZHU Z S. City population size, industrial agglomeration and CO₂ emission in Chinese prefectures[J]. China Environmental Science, 2021, 41(5):2459-2470.
- [10] 李在军, 尹上岗, 姜友雪, 等. 长三角经济增长与碳排放异速关系及形成机制[J]. 自然资源学报, 2022, 37(6):1507-1523. LIZ J, YIN S G, JIANG Y X, et al. Analysis of allometric relationship and formation mechanism between economic growth and carbon emissions in the Yangtze River Delta[J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(6):1507-1523.
- [11] 邓荣荣, 张翱翔. 中国城市数字金融发展对碳排放绩效的影响及机理[J]. 资源科学, 2021, 43(11):2316-2330. DENG R R, ZHANG A X. The impact of urban digital finance development on carbon emission performance in China and

mechanism[J]. Resources Science, 2021, 43(11):2316-2330.

[12] 于向宇, 李跃, 陈会英, 等. “资源诅咒”视角下环境规制、能源禀赋对区域碳排放的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(5):52-60. YU X Y, LI Y, CHEN H Y, et al. Study on the impact of environmental regulation and energy endowment on regional carbon emissions from the perspective of resource curse[J]. China Population Resources and Environment, 2019, 29(5):52-60.

[13] 高艳丽, 董捷, 李璐, 等. 碳排放权交易政策的有效性及其作用机制研究——基于建设用地碳排放强度省际差异视角[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(4):783-793. GAO Y L, DONG J, LI L, et al. Study on the effectiveness and mechanism of carbon emission right trading policy:Based on the perspective of inter-provincial difference in the construction land carbon emission intensity[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(4):783-793.

[14] 范德成, 张修凡. 绿色金融改革创新对高排放企业碳减排的效果分析[J]. 工程管理科技前沿, 2022, 41(4):55-61. FAN D, ZHANG X F. Effect of green financial reform and innovation on Carbon Emission reduction of high-emission enterprises[J]. Forecasting, 2022, 41(4):55-61.

[15] 苏涛永, 郁雨竹, 潘俊汐. 低碳城市和创新型城市双试点的碳减排效应——基于绿色创新与产业升级的协同视角[J]. 科学学与科学技术管理, 2022, 43(1):21-37. SU T Y, YU Y Z, PAN J X. Carbon emission reduction effect of low-carbon cities and innovative cities:Based on the synergic perspective of green innovation and industrial upgrading[J]. Science of Science and Management of S&T (Monthly), 2022, 43(1):21-37.

[16] 薛飞, 陈煦. 绿色财政政策的碳减排效应——来自“节能减排财政政策综合示范城市”的证据[J]. 财经研究, 2022, 48(7):79-93. XUE F, CHEN X. The carbon emission reduction effect of green fiscal policy:Evidence from the “national comprehensive demonstration city of energy saving and emission reduction fiscal policy” [J]. Journal of Finance and Economics, 2022, 48(7):79-93.

[17] 郭沛, 梁栋. 低碳试点政策是否提高了城市碳排放效率——基于低碳试点城市的准自然实验研究[J]. 自然资源学报, 2022, 37(7):1876-1892. GUO P, LIANG D. Does the low-carbon pilot policy improve the efficiency of urban carbon emissions:Quasi-natural experimental research based on low-carbon pilot cities[J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(7):1876-1892.

[18] 张明斗, 李玥. 长江经济带城市经济高质量发展的时空演变与收敛性[J]. 华东经济管理, 2022, 36(3):24-34. ZHANG M D, LI Y. Research on spatial-temporal pattern and convergence of urban economic high-quality development in the Yangtze River economic belt[J]. East China Economic Management, 2022, 36(3):24-34.

[19] 曾刚, 曹贤忠, 王丰龙. 长江经济带城市协同发展格局及其优化策略初探[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(8):951-959. ZENG G, CAO X Z, WANG F L. Preliminary research on coordinated development pattern and optimization strategy of cities in the Yangtze River economic belt[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(8):951-959.

[20] 黄文, 张羽瑶. 区域一体化战略影响了中国城市经济高质量发展吗?——基于长江经济带城市群的实证考察[J]. 产业经济研究, 2019(6):14-26. HUANG W, ZHANG Y Y. Does the strategy of regional integration affect the high-quality development of China's urban economy?:An empirical study based on urban agglomeration in the Yangtze River Economic

Belt[J]. Industrial Economics Research, 2019(6):14-26.

[21] 王儒奇, 胡绪华. 长江经济带一体化战略对城市创新能力的影响[J]. 华东经济管理, 2021, 35(10):29-38. WANG R Q, HU X H. Influence of integration strategy of Yangtze River economic belt on urban innovation ability[J]. East China Economic Management, 2021, 35(10):29-38.

[22] 郭婧煜, 樊帆. 长江经济带发展战略对地区产业结构升级效应的实证评估[J]. 统计与决策, 2021, 37(12):103-107. GUO J Y, FAN F. Empirical evaluation of the effect of the development strategy of Yangtze River Economic Belt on the upgrading of regional industrial structure[J]. Statistics and Decision, 2021, 37(12):103-107.

[23] 陈振明. 政府工具研究与政府管理方式改进——论作为公共管理学新分支的政府工具研究的兴起、主题和意义[J]. 中国行政管理, 2004(6):43-48. CHEN Z M. Study on government instruments and improvement on government management mode: On the rising, topic and meaning of government instruments study as a new branch of public management[J]. Chinese Public Administration, 2004(6):43-48.

[24] 刘晨跃, 徐盈之. 市场化、结构性产能过剩与环境污染——基于系统 GMM 与门槛效应的检验[J]. 统计研究, 2019, 36(1):51-64. LIU C Y, XU Y Z. Marketization, structural overcapacity and environmental pollution: A test based on system GMM and threshold effect[J]. Statistical Research, 2019, 36(1):51-64.

[25] 张云辉, 郝时雨. 收入差距与经济集聚对碳排放影响的时空分析[J]. 软科学, 2022, 36(3):62-67, 82. ZHANG Y H, HAO S Y. Spatio-temporal analysis of the impact of income gap and economic agglomeration on carbon emissions[J]. Soft Science, 2022, 36(3):62-67, 82.

[26] 姜智强, 刘伊霖, 曾智, 等. 财政环保支出对农业生态效率的影响研究——来自长江经济带发展战略的经验证据[J]. 经济问题, 2022(6):113-122. JIANG Z Q, LIU Y L, ZENG Z, et al. The impact of public environmental expenditure on agricultural eco-efficiency: Empirical evidence from the Yangtze River economic belt[J]. On Economic Problems, 2022(6):113-122.

[27] 郭捷, 杨立成. 环境规制、政府研发资助对绿色技术创新的影响——基于中国内地省级层面数据的实证分析[J]. 科技进步与对策, 2020, 37(10):37-44. GUO J, YANG L C. Impact of environmental regulations and government R&D funding on green technology innovation: An empirical analysis based on provincial level data in China's mainland[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2020, 37(10):37-44.

[28] 梁斐然, 王利平. 组织合法化: 基于制度视角的研究述评与展望[J]. 南开管理评论, 2022(3):1-31. LANG F R, WANG L P. Legitimization of organizations: A review and prospects of research from an institutional perspective[J]. Nankai Business Review, 2022(3):1-31.

[29] 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(2):136-154. TAO F, ZHAO J Y, ZHOU H. Has environmental regulation achieved the “incremental quality improvement” of green technological innovation?: Evidence from the environmental target responsibility system[J]. China Industrial Economics, 2021(2):136-154.

[30] 邵帅, 张可, 豆建民. 经济集聚的节能减排效应: 理论与中国经验[J]. 管理世界, 2019, 35(1):36-60, 226. SHAO S, ZHANG

K, DOU J M. Effects of economic agglomeration on energy saving and emission reduction: Theory and empirical evidence from China[J]. Management World, 2019, 35(1):36-60, 226.

[31] 田云, 尹恣昊. 技术进步促进了农业能源碳减排吗?——基于回弹效应与空间溢出效应的检验[J]. 改革, 2021(12):45-58. TIAN Y, YIN M H. Does technological progress promote carbon emission reduction of agricultural energy?: Test based on rebound effect and spatial spillover effect[J]. Reform, 2021(12):45-58.

[32] 张兵兵, 徐康宁, 陈庭强. 技术进步对二氧化碳排放强度的影响研究[J]. 资源科学, 2014, 36(3):567-576. ZHANG B B, XU K N, CHEN T Q. The influence of technical progress on carbon dioxide emission intensity[J]. Resources Science, 2014, 36(3):567-576.

[33] 方红星, 林婷, 许东彦. 中国环境信息规制的市场效应——基于股价崩盘风险的实证检验[J]. 财经研究, 2022, 48(7):63-78. FANG H X, LIN T, XU D Y. The market effect of China's environmental information regulation: An empirical test based on stock price crash risk[J]. Journal of Finance and Economics, 2022, 48(7):63-78.

[34] 温忠麟, 叶宝娟. 中介效应分析: 方法和模型发展[J]. 心理科学进展, 2014, 22(5):731-745. WEN Z L, YE B J. Analyses of mediating effects: The development of methods and models[J]. Advances in Psychological Science, 2014, 22(5):731-745.

[35] 董直庆, 王辉. 市场型环境规制政策有效性检验——来自碳排放权交易政策视角的经验证据[J]. 统计研究, 2021, 38(10):48-61. DONG Z Q, WANG H. Validation of market-based environmental policies: Empirical evidence from the perspective of carbon emission trading policies[J]. Statistical Research, 2021, 38(10):48-61.

[36] 余志伟, 樊亚平, 罗浩. 中国产业结构高级化对碳排放强度的影响研究[J]. 华东经济管理, 2022, 36(1):78-87. YU Z W, FAN Y P, LUO H. Research on the influence of industrial structure upgrading on carbon emission intensity in China[J]. East China Economic Management, 2022, 36(1):78-87.

[37] 张成思, 朱越腾. 对外开放、金融发展与利益集团困局[J]. 世界经济, 2017, 40(4):55-78. ZHANG C S, ZHU Y T. Opening to the outside world, financial development and the dilemma of interest groups[J]. The Journal of World Economy, 2017, 40(4):55-78.

[38] 钱海章, 陶云清, 曹松威, 等. 中国数字金融发展与经济增长的理论与实证[J]. 数量经济技术经济研究, 2020, 37(6):26-46. QIAN H Z, TAO Y Q, CAO S W, et al. Theory and demonstration of digital finance development and economic growth in China[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2020, 37(6):26-46.

[40] 张国建, 佟孟华, 李慧, 等. 扶贫改革试验区的经济增长效应及政策有效性评估[J]. 中国工业经济, 2019(8):136-154. ZHANG G J, TONG M H, LI H, et al. Evaluation of economic growth effect and policy effectiveness in pilot poverty alleviation reform zone[J]. China Industrial Economics, 2019(8):136-154.

[41] 赵凡, 罗良文. 长江经济带产业集聚对城市碳排放的影响: 异质性与作用机制[J]. 改革, 2022(1):68-84. ZHAO F, LUO L W. The impact of industrial agglomeration on urban carbon emissions in the Yangtze River economic belt: Heterogeneity and action mechanism[J]. Reform, 2022(1):68-84.

[42] 易艳春, 高爽, 关卫军. 产业集聚、城市人口规模与二氧化碳排放[J]. 西北人口, 2019, 40(1):50-60. YI Y C, GAO S, GUAN

W J. Industrial agglomeration, urban population and CO₂ emissions in Chinese prefectures[J]. Northwest Population Journal, 2019, 40(1):50-60.

[43] 李斌, 吴书胜. 城市化进程中贸易开放的碳减排效应[J]. 商业经济与管理, 2016(3):22-34. LI B, WU S S. Effect of trade opening on carbon reduction in the process of urbanization[J]. Journal of Business Economics, 2016(3):22-34.

[44] 邵帅, 李欣, 曹建华. 中国的城市化推进与雾霾治理[J]. 经济研究, 2019, 54(2):148-165. SHAO S, LI X, CAO J H. Urbanization promotion and smog control in China[J]. Economic Research Journal, 2019, 54(2):148-165.

[45] ABADIE A, DIAMOND A, HAINMUELLER J. Synthetic control methods for comparative case studies: Estimating the effect of California's tobacco control program[J]. Journal of the American Statistical Association, 2010, 105(490):493-505.