
碳交易试点政策对特殊类型地区 工业碳效率的政策效应分析

向仙虹 张瀚月 孙慧

新疆大学地理学博士后流动站 新疆大学经济与管理学院

摘要：建立碳市场是中国实现“双碳”目标的重要探索，同时国家也高度重视特殊类型地区振兴发展，特别是资源型地区 and 老工业城市的绿色低碳转型发展。因此，将碳交易试点政策作为准自然实验，基于 2004—2019 年中国省级工业行业的面板数据，运用合成控制法对湖北、重庆这两个关注特殊类型地区振兴的省市试点政策的工业碳效率的影响进行比较评估。研究结果表明：碳交易试点政策能够显著提升湖北、重庆工业碳效率；在异质性分析中，碳交易试点政策显著促进了湖北、重庆的重、中等污染行业的碳效率，而对低污染行业的碳效率影响不明显。其中，湖北的重污染行业的碳效率的提升更为明显，而重庆的中等污染行业的碳效率的提升更为明显。

关键词：碳交易；工业碳效率；特殊类型地区；合成控制法

作者简介：向仙虹，博士，副教授，硕士研究生导师，研究方向为产业绿色转型发展。E-mail:15099320474@163.com;

基金：国家社会科学基金项目“‘双碳’目标下高耗能制造业绿色转型升级研究”（22CJY057）；新疆维吾尔自治区社会科学基金项目“新疆现代产业体系建设研究”（21BJL038）；新疆大学哲学社会科学校内培育项目“‘双碳’目标下新疆资源型制造业绿色转型升级研究”（22CPY052）；

人类经济活动产生过量的温室气体对人类生存环境造成了巨大的威胁，由此引发的气候变化问题更是全球瞩目。中国是全球碳排放大国，在积极应对气候变化问题上，制定了一系列节能降碳政策，积极推动经济绿色低碳发展[1]。其中，碳交易市场作为有效的碳减排手段，聚焦试点区域的高污染高耗能企业，不仅能利用市场机制来控制 and 减少工业企业碳排放量，还能够通过相应的经济激励机制鼓励企业减排，是政府正积极推行的具有针对性的减碳手段。

2021 年国家发改委发布的《“十四五”特殊类型地区振兴发展规划》强调要完善特殊类型地区可持续发展长效机制，支持特殊类型地区绿色转型升级。湖北和重庆是特殊类型地区相对较多的省市，同时面临着激发欠发达地区发展、振兴革命老区、推动资源型城市 and 老工业城市绿色转型等多项发展任务；也是高污染产值占比相对较高，绿色低碳转型升级的难点区域。那么，碳交易试点政策能否促进特殊类型地区相对较多的省市的工业碳效率的提升，对湖北和重庆的政策效应又有何差异？

随着我国 2011 年在北京、天津、上海、重庆、广东、湖北、深圳 7 个省市进行碳交易试点，越来越多文献关注到碳交易市场。近年来关于碳交易研究的文献主要可以分成两个大类：一是关于碳交易市场的建设和设计[2, 3, 4]，包括碳市场覆盖的行业[5]、碳市场配额[6]、制度环境等，以及碳市场存在的问题和改进意见；二是关于碳交易市场带来的影响研究，碳交易市场对碳减排[7, 8, 9]、碳强度[10]、能源强度[11]、碳效率[12]等的影响研究。

国内外许多学者使用不同的研究方法来评估碳交易的影响。一部分学者使用经典的双重差分法对碳交易市场进行研究。ZHOU

等[13]使用 LMDI 和 DID 结合的方法研究发现中国的碳交易试点政策通过带动产业结构的升级降低碳强度。ZHANG 等[14]等使用 DID 和空间 DID 等方法研究发现碳交易政策通过促进绿色技术创新和调整能源结构显著改善区域的能源利用效率。耿文欣等[11]使用合成控制法,对碳交易试点对湖北能源强度的影响进行研究,研究表明碳交易试点使得湖北能源强度下降。LI 等[15]使用 CGE 模型研究碳交易市场对电力行业的影响,研究表明碳市场可以显著降低碳排放,虽然在短期会对经济造成一定负面影响。

大部分学者都认同碳交易试点政策能够减少试点地区的碳排放量,他们进一步关注到这种减排是否是以遏制工业经济发展为代价达成的,或者说这种减排是否有效率。ZHANG 等[16]研究得出中国的碳交易试点政策显著降低了所涵盖的工业行业的碳排放量,但没有降低其碳强度,试点地区的碳减排主要是通过工业行业的产出减少实现的。CHENG 等[1]用改进的非径向定向距离函数(NDDF)构建了碳效率(TCEI),研究发现我国工业的碳效率较低,很多省份的工业碳效率有很大的提升空间,但是该文献研究的是普遍的情况,并未对碳交易试点政策进行研究。贾智杰等[17]研究碳交易试点政策对全要素碳效率的影响,发现碳交易试点政策对一线城市和直辖市的碳效率有显著的正向影响,但并未进一步对工业碳效率进行研究和阐述。

综上所述,我国对碳交易试点的影响研究较多采用了双重差分或倾向得分匹配的双重差分的方法,虽然已有学者关注到了碳交易试点对碳效率的影响,但鲜有学者采用合成控制法探讨碳交易试点政策对工业碳效率的影响,特别是对碳交易试点政策对特殊类型地区工业碳效率的政策效应检验与异质性比较分析。

1 研究设计

1.1 研究对象

本文对特殊类型地区相对较多的湖北和重庆的碳交易试点情况进行研究,即重点关注特殊类型地区碳交易试点情况。湖北和重庆同时面临着激发欠发达地区发展、振兴革命老区、推动资源型城市和老工业城市绿色转型等多项发展任务,有相较其他试点地区更紧迫的产业绿色转型、节能降碳需求,并且湖北和重庆都是 2011 年 10 月首批列入碳交易试点的省份[5]。截至 2022 年 4 月,湖北碳排放权交易市场累计成交量占全国市场 33.05%,累计成交额占全国 55.07%;重庆碳排放权交易市场累计成交量占全国 2.59%,累计成交额占全国 2.14%。本文在以上情况下进一步重点考察碳排放权交易政策对湖北和重庆工业碳效率政策效应的异质性。

1.2 模型设定

本文采用合成控制法(SCM)评估湖北、重庆碳交易试点政策对省级工业层面碳效率的影响。合成控制法(SCM)运用反事实思路,根据处理组的多重特征,为处理组构建出一个更为合适的对照组[18],并且合成控制法能够在样本量较小的情况下对受政策冲击的样本进行评估,相对于 DID 更适合检验碳交易试点政策效应。

研究的处理组是湖北和重庆,对照组为 23 个非试点省份(西藏自治区和港澳台地区除外),研究时期为 2004—2019 年。湖北和重庆都是 2011 年 10 月纳入碳交易试点的省市,故选取 2012 年作为湖北和重庆受到政策冲击的时间。给定 $N+1$ 个省份在 $t \in [1, T]$ 时期的碳效率为 $TFCE_{it}$,其中 $TFCE_{Nit}$ 为省份 i 在 t 时期未作为碳排放权交易试点时的碳效率, $TFCE_{Yit}$ 为省份 i 在 t 时期作为碳排放权交易试点时的碳效率。构建模型 $TFCE_{it} = TFCE_{Nit} + D_{it} \alpha_{it}$, D_{it} 是一个虚拟变量,省份 i 在 $t=T_0$ 时期是试点地区时 $D_{it}=1$,否则 $D_{it}=0$; α_{it} 表示碳排放权交易试点的碳效率的变化情况。 $T > T_0$ 期后,政策效应可表示为 $\tau_{it} = TFCE_{it} - TFCE_{Nit}$ 。 $TFCE_{Nit}$ 不可观测,本文参考 ABADIE 等[18]提出的基于参数回归的因子模型。

$$TFCE_{it}^N = \delta_t + \theta_t Z_i + \lambda_t \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中： δ_t 为时间固定效应； Z_i 是一个可观测到的 $r \times 1$ 维协变量，表示可以观测到且不受碳交易试点政策影响的控制变量； μ_i 是一个 $F \times 1$ 维不可观测的个体固定效应向量； θ_t 是一个 $1 \times r$ 维待估计的参数向量； λ_t 是一个 $1 \times F$ 维不可观测的公共因子向量； ε_{it} 为扰动项。

用控制组省份的加权来模拟对照组的特征，构建 $N+1$ 维的权重向量，控制组省份 j 的权重 $w_j \geq 0$ 且有 $w_2 + \dots + w_{N+1} = 1$ 。TFCE_{it} 是控制组的加权平均，对处理组估计的结果变量为：

$$\sum_{j=2}^{N+1} w_j TFCE_{jt} = \delta_t + \theta_t \sum_{j=2}^{N+1} w_j Z_i + \lambda_t \sum_{j=2}^{N+1} w_j \mu_i + \sum_{j=2}^{N+1} \varepsilon_{jt} \quad (2)$$

假设存在权重向量满足：

$$\sum_{j=2}^{J+1} w_j^* TFCE_{j1} = TFCE_{11},$$

$$\sum_{j=2}^{J+1} w_j^* TFCE_{j2} = TFCE_{12}, \dots, \sum_{j=2}^{J+1} w_j^* TFCE_{jT_0} = TFCE_{1T_0} \quad (3)$$

$$\sum_{j=2}^{J+1} w_j^* Z_j = Z_1 \quad (4)$$

确定 τ_{it} 的关键在于求出权重向量 W^* ， W^* 由最小化 X_1 与 $X_0 W$ 之间的距离函数 $\sqrt{(X_1 - X_0 W)' V (X_1 - X_0 W)}$ 得出。其中 X_1 是试点政策实施前实验组的 $R \times 1$ 维特征向量， X_0 是控制组的 $R \times N$ 维特征向量，第 j 列是地区 j 相应的特征变量， V 是 $R \times R$ 维对称的半正定矩阵。借鉴 ABADIE 等[18]的研究，运用 Stata 软件确定 V 和 W 以最小化 T_0 期前合成地区与试验组的碳排放轨迹，进而评估政策实际减排效果。

1.3 非期望产出的 SBM 模型

本文使用包含非期望产出的 SBM 模型，对省级工业层面的碳排放效率进行评估[19]。DEA 模型是一种对评估对象之间相对效率进行非参数技术效率分析的方法。技术效率是从投入和产出的角度衡量，反映一个生产单位的技术水平。综上模型设定如下，假设有 K 个决策单元（DMU）、 Z 个投入向量、 V 个期望产出向量和 W 个期望产出向量，每个 DMU 的输入—输出向量可以用矩阵的形式表示。这些输入和输出矩阵分别是 $x \in R^+Z, y \in R^+V, z \in R^+W$ 。公式（5）中， s_x 、 s_y 、 s_u 分别代表对应向量的冗余量， λ_k 为各个决策单元的权重，分子分母分别为投入和产出无效率程度。 ρ 为所求的碳效率值，位于 0 和 1 之间。当 $\rho = 1$ 时，表明决策单元位于前沿面上，碳效率最优；当 $0 < \rho < 1$ 时，则表明决策单位的碳效率还存在改进的空间。

$$\rho = \min \frac{1 + \frac{1}{Z} \sum_{n=1}^Z \frac{s_n^x}{x_n^k}}{1 + \frac{1}{V+W} \left(\sum_{n=1}^V \frac{s_n^k}{y_n^k} + \sum_{n=1}^V \frac{s_n^k}{u_n^k} \right)} \quad (5)$$

$$x_n^k = \sum_{n=1}^K \lambda_k x_n^k + s_n^x \quad (6)$$

$$y_m^k = \sum_{n=1}^K \lambda_k y_m^k - s_m^y \quad (7)$$

$$u_l^k = \sum_{n=1}^K \lambda_k u_l^k + s_l^u \quad (8)$$

$$s_n^x \geq 0, s_m^y \geq 0, s_l^u \geq 0, \lambda_k \geq 0 \quad (9)$$

1.4 变量的选取和处理

本文选取的被解释变量是碳效率，可以用来反映碳排放的表现，在保持二氧化碳排放量相对增长较缓、不增长或者逆增长的情况下实现相对经济的增长[20, 21]。碳效率的估算基本可以分为单要素和多要素两种[1]。单一因素碳效率基本使用碳排放与某一投入产出要素的比值反映，但是它们只能反映某些方面，评估较为片面。全要素碳效率通过估算多要素投入下的实际碳排放和最优碳排放的比值，对碳效率的评估较单要素更为全面和合理。综上所述，本文也使用全要素的碳效率来对省级工业层面的碳效率进行测算。

本文通过 MATLAB 编程来实现 SBM，并对中国省级层面 27 个工业行业的全要素碳效率进行测算。由于西藏及港澳台地区数据缺失所以未列入研究，北京市、上海市经济特征较为特殊，所以也未列入研究。统计数据为规模以上企业，数据处理基期为 2004 年。关于行业数据的合并，在 2004—2011 年《中国工业统计年鉴》对交通运输设备制造业进行统计，在 2012 年后《中国工业统计年鉴》对汽车制造业，铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业分别进行统计，本文保留交通运输设备制造业，在 12 年后对汽车制造业和铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业加总作为交通运输设备制造业。

本研究的全要素碳效率使用 3 个投入量，1 个期望产出量，1 个非期望产出量。（1）资本存量 K，使用固定资产净值表示，可直接使用《中国工业统计年鉴》统计数据，在未统计该指标年份使用固定资产原价减去累计折旧得到，省级工业层面数据用全国分地区的固定资产投资价格指数进行平减，省级工业行业数据使用全国行业层面的生产者制造指数 PPI 进行平减；（2）劳动力投入 L，使用平均用工人数量表示；（3）能源消耗 E，将所有消耗能源折算为标准煤并加总；（4）主营业务收入 R 作为期望

产出，并使用全国行业层面的生产者制造指数 PPI 进行平减；（5）二氧化碳排放 C 作为非期望产出。

控制变量的选取，本文选取（1）经济发展水平，选取人均 GDP 的对数表示，表示经济发展水平对碳效率的影响；（2）产业结构，选用第二产业增加值/地区生产总值；（3）外商直接投资，选取的是外商直接投资/地区生产总值，对外开放越高越有可能实现先进技术的转移从而提高碳效率；（4）能源强度，选取能源消费量/地区生产总值，能源强度增强可能会使碳效率下降；（5）人口密度，选取常住人口/土地面积，该地区人口数和质量可能会对碳效率造成影响；（6）技术进步，高技术产业 R&D 经费内部支出/GDP 表示，技术的进步能够提高碳效率；（7）城市化率，选取城镇人口/区域总人口。

1.5 数据来源

省级经济数据均来自历年《中国统计年鉴》和各省历年统计年鉴，工业能源消费总量、工业二氧化碳排放量来自 CEADS 数据库[22, 23]，工业的固定资产净值、平均就业人员、主营业务收入均来自《中国工业统计年鉴》，地区外商直接投资、高技术产业 R&D 经费内部支出来自 Wind 数据库。

2 实证检验和结果分析

2.1 合成控制法的有效性检验

一个合理的合成省份需要在政策冲击前尽可能和实际地区保持一致，且在政策冲击后与实际地区差异越大，则说明该政策效应越显著。图 1 展示了 2004—2019 年湖北和合成湖北的工业碳效率，图 2 展示了 2004—2019 年重庆和合成重庆的工业碳效率，图 3 展示了湖北与合成湖北的工业碳效率的差额，图 4 展示了重庆与合成重庆的工业碳效率的差额。

从图 1~图 4 可以看出，在受到试点政策冲击之前（2004—2011 年）的湖北和合成湖北、重庆和合成重庆的工业碳效率的误差均较小。具体而言，2004—2011 年湖北与合成湖北的碳效率平均误差为 0.002，2004—2011 年重庆与合成重庆的碳效率平均误差为 0.006。同时参考相关文献中的误差，发现本文的误差在合理的范围，说明对湖北、重庆的合成控制是相对有效的。

2.2 碳交易试点政策对湖北、重庆工业碳效率的影响

表 1、表 2 展示的湖北、重庆合成控制的最优权重，即权重不为零对应的省份。由表 1、表 2 所示，合成湖北是由山西、内蒙古、安徽、湖南四个省份加权平均得出，合成重庆是由安徽、江西、广西、海南、青海五个省份加权平均得出的。

表 3 展示的是 2012—2019 年湖北、重庆碳交易试点政策对工业碳效率的影响效应。从图 1、图 2 可以看出，试点政策在刚出台的时候对碳效率的影响并不显著，湖北的碳效率只出现微弱的上升，重庆的碳效率甚至出现轻微的下滑，2013 年及以后碳交易试点政策显著促进碳效率的提升，湖北、重庆的碳排放效率总体都呈现波动上升趋势。结合表 3、图 3 和图 4 可以看出，湖北、重庆碳交易试点政策显著促进了湖北、重庆的工业碳排效率，碳交易试点政策对湖北、重庆的工业碳排效率呈显著正向的影响，并且影响是随时间持续上升的。

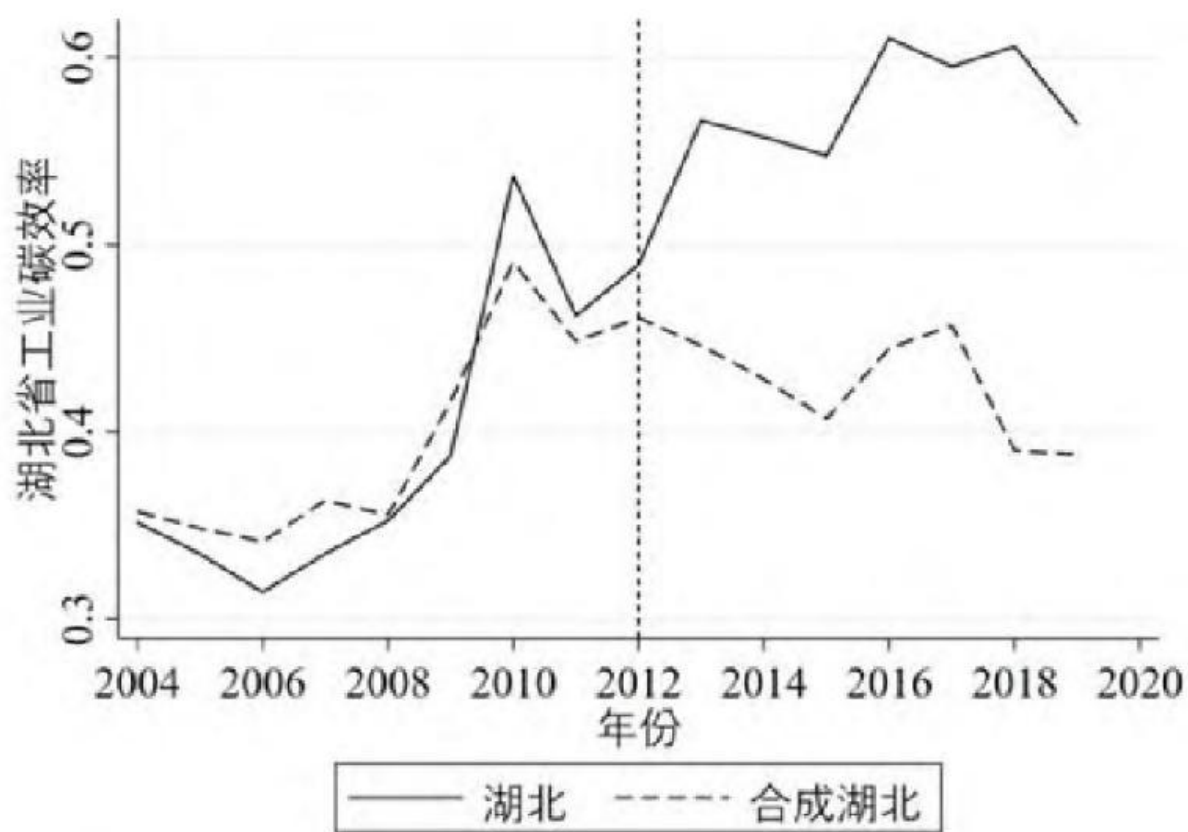


图1 湖北工业碳效率

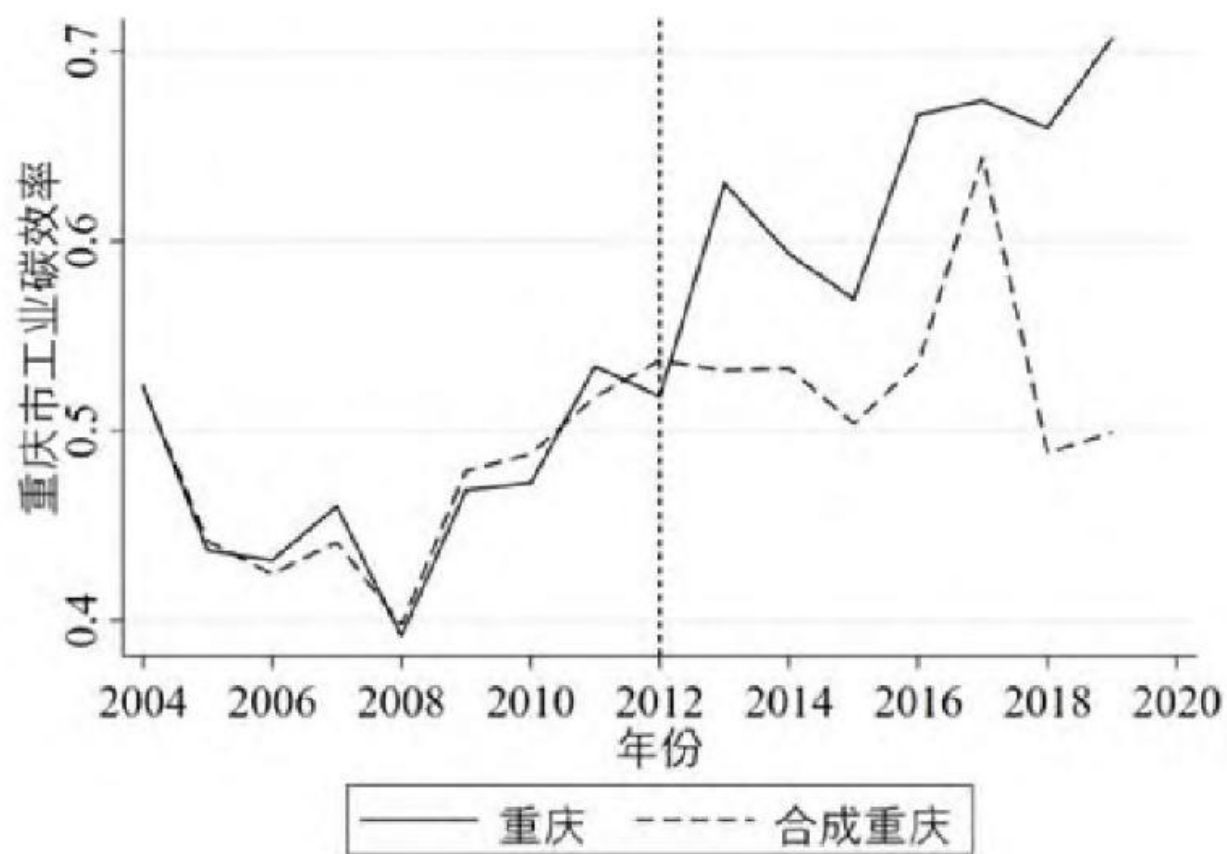


图2 重庆工业碳效率

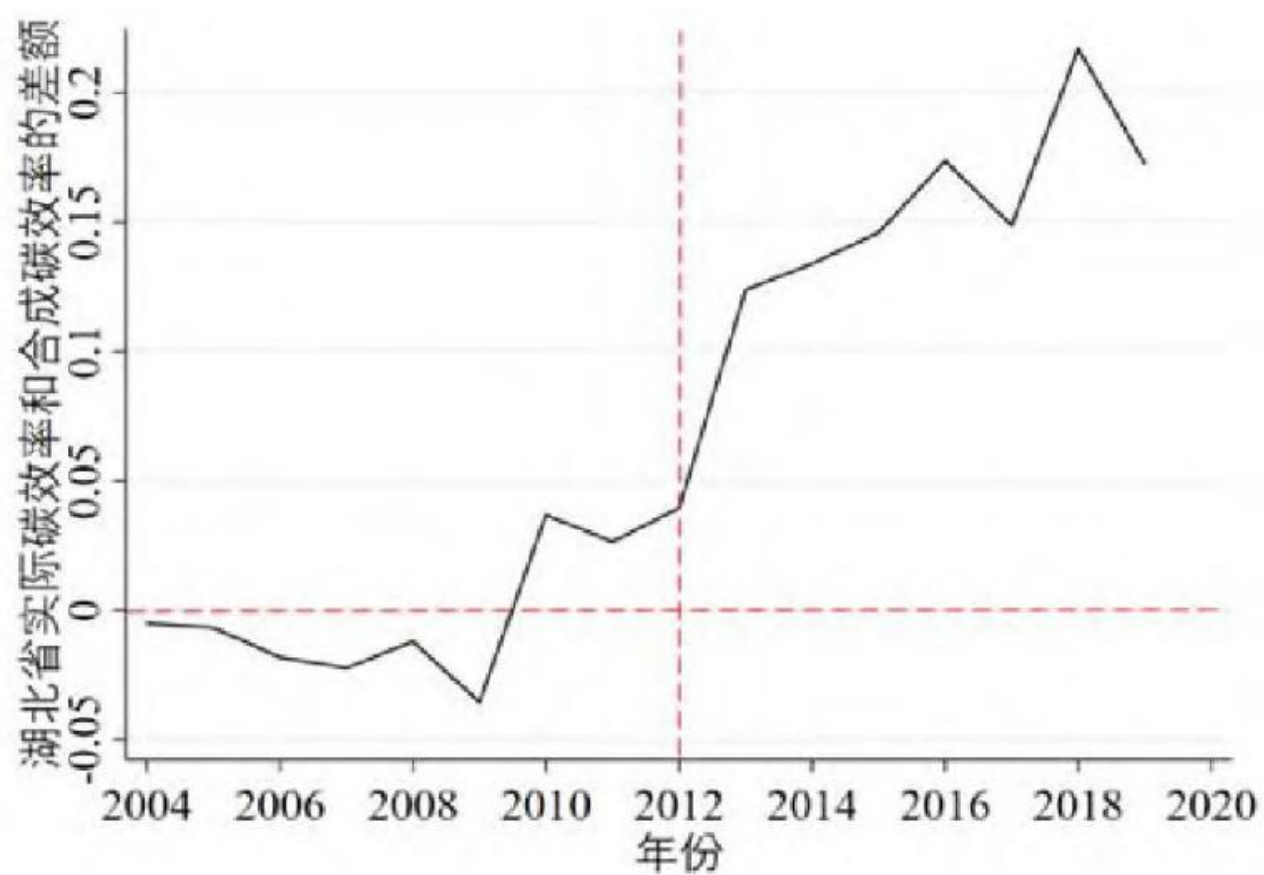


图 3 湖北实际碳效率和合成碳效率的差额

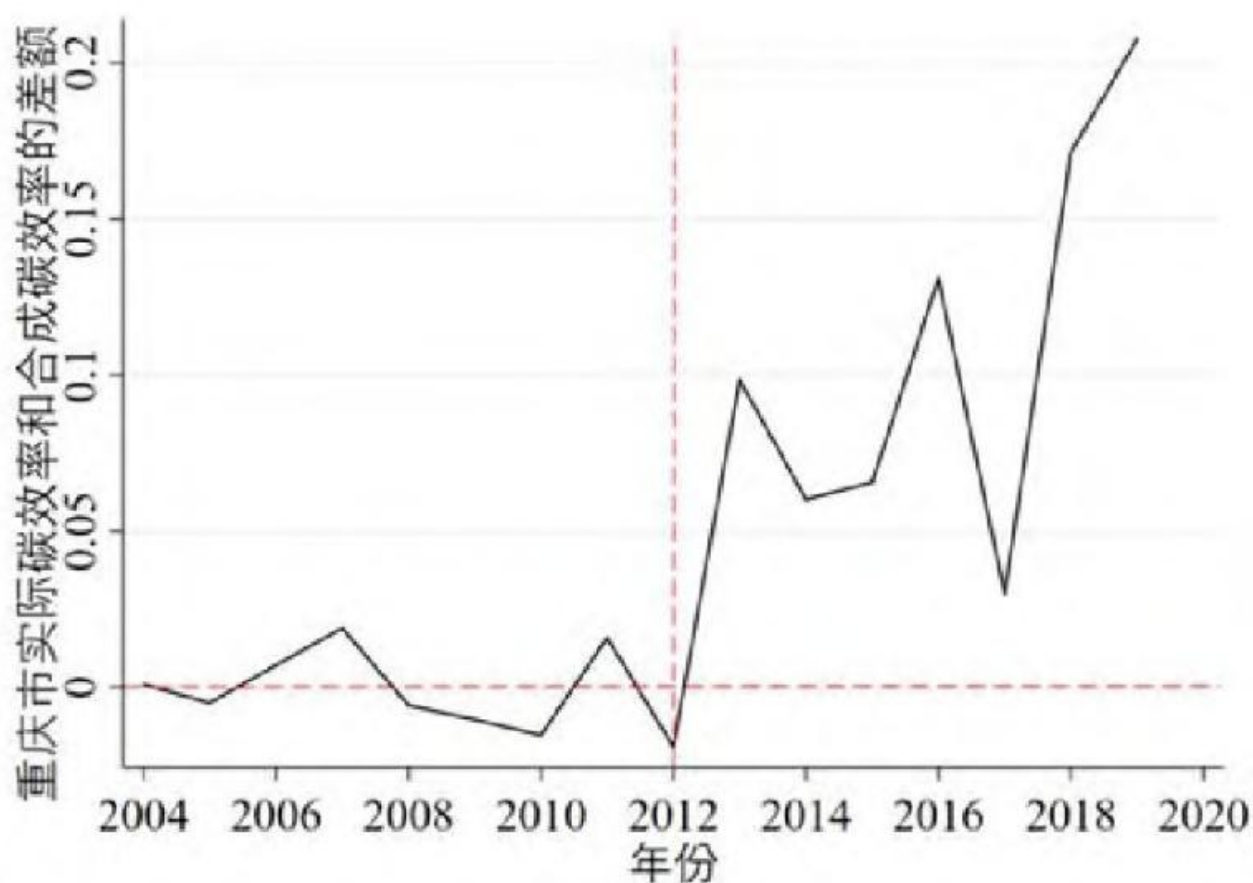


图 4 重庆实际碳效率和合成碳效率的差额

从表 3 的数据看实际湖北与合成湖北工业碳效率的差值在 2018 年为 0.185、在 2019 年为 0.152、2012—2019 年平均差额为 0.123，实际重庆与合成重庆工业碳效率的差值在 2018 年为 0.165、在 2019 年为 0.214、2012—2019 年平均差额为 0.100。从近期数据看重庆工业碳效率上升更快，但从长期来看湖北工业碳效率的上升更平稳。

表 1 合成湖北对应的省份最优权重

省份	山西	内蒙古	安徽	湖南
权重	0.056	0.458	0.366	0.120

表 2 合成重庆对应的省份最优权重

省份	安徽	江西	广西	海南	青海
权重	0.170	0.517	0.141	0.022	0.149

表 3 2012—2019 年湖北、重庆碳交易试点政策对工业碳效率的影响效应

年份	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
湖北	0.023	0.111	0.117	0.130	0.152	0.117	0.185	0.152
重庆	-0.016	0.105	0.075	0.076	0.135	0.048	0.165	0.214

2.3 结果分析

由上文的分析可以得出，湖北、重庆碳交易试点政策对工业碳效率的影响，从总的来看都十分显著，从近期看重庆工业碳效率上升更快，从长期来看湖北工业碳效率的上升更稳。说明碳交易试点政策能够促进湖北、重庆的工业企业积极的节省能源、减少二氧化碳的排放[11]。并且碳交易试点政策带来的碳效率的提升说明了湖北、重庆实现的减排不是以遏制工业经济发展来达到的，它促进了经济正向绿色发展[17]。总的而言，碳交易试点政策正向促进了特殊类型地区相对较多湖北、重庆两地的碳效率的增长，即碳交易试点政策可以帮助特殊类型地区实现绿色转型发展。

但是从湖北、重庆的碳交易量和碳交易额上看，湖北碳交易市场的活跃度远胜于重庆碳交易市场，而湖北、重庆工业碳效率的提升都十分显著。产生这种情况的原因，可能是我国碳交易市场的制度建设还不够完善，存在市场机制的功能缺失，碳交易市场机制对碳减排的作用有限。碳交易市场的碳减排效应除了来源于碳交易还受到地区行政干预的影响，因此当前试点地区的碳市场主要是通过市场机制与行政干预的协同作用实现工业碳效率的提升[21]。所以在湖北、重庆碳交易市场活跃度差距较大的情况下[24]，湖北、重庆的工业碳效率的提升差距并不大，甚至在短期重庆工业碳效率的提升幅度大于湖北碳效率的提升幅度。

3 稳健性检验

3.1 安慰剂检验

为验证结果的有效性，排除其他因素的干扰，本文使用 ABADIE 等[18]提出的排序检验法即安慰剂检验，来评估碳交易试点政策是否稳健。该检验的过程可以解释为：假设一个没有进行碳交易试点的省份和进行碳交易试点的省份在同一年实施了碳交易试点政策，并将前文作为对照组的省份作为它的对照组构造出这个省份的合成控制省份，然后对该省份实际碳效率和合成省份碳效率的差异进行对比即可得出政策冲击的影响。对每一个对照组的省份进行同样的处理，然后对安慰剂检验得到的对照组的碳效率的差值和实证分析中湖北、重庆的碳效率的差值进行对比。如果湖北、重庆与合成的湖北、重庆的工业碳效率的差值来源于碳交易试点政策的实施，那么实证分析中的碳效率的差额应远大于安慰剂检验所得到的差额。通过安慰剂检验可以得到剩余 23 个省份在 2012 年受政策冲击前的年均方差，去除掉对照组中在政策出台前年均方差大于湖北、重庆 5 倍的省份。

图 5、图 6 是湖北、重庆工业碳效率差值分布以及其他非试点省份碳效率差值分布，其中图 5 的实线对应的是湖北、图 6 的实线对应的是重庆，虚线对应的是 2012 年前年均方差值在湖北、重庆的年均方差 5 倍内的其他省份。2012 年前，湖北和其他省份的碳效率的差值相对较小，但在 2010 年不少非试点省份的碳效率出现了较大波动，可能与 2010 年为“十一五”收官之年有一定联系。2012 年后湖北碳效率出现较大幅度的增幅，并且其增幅有一些波动但显然大于其余非试点地区，说明湖北碳交易试点政策相对提升了湖北碳效率。剔除山东和青海之后还剩 22 个省份，表明有 4.5%(1/22) 的概率出现湖北与合成湖北碳效率存在较大的差额。2012 年前，重庆和其他省份的碳效率的差值相对较小，重庆的碳效率差值非常平缓，拟合效果非常理想。2012 年后重庆碳效率出现较大幅度的增幅，虽然其在 2017 年出现一个较大的波谷，但总体增幅显然大于其余非试点地区，说明重庆碳交易试点政策相对提升了重庆碳效率。剔除山东和青海之后还剩 22 个省份，表明有 4.5%(1/22) 的概率出现重庆与合成重庆碳效率存在较大的差额。因此可以认为湖北和重庆碳效率在 5% 的显著性水平上显著。

3.2 迭代法

为了进一步检验实证结果的稳健性，参考苏治等[25]的稳健性检验方法：以湖北省例，每次迭代删去加权平均合成湖北贡献为正的一个省份，依次删去山西、内蒙古、安徽、湖南来检验碳交易试点政策对湖北的工业碳效率的效果是否会因为合成组合权重的变化以及某个省份的缺失而受到影响。图 7、图 8 展示的是湖北和重庆的迭代法检验结果，发现受到政策冲击后，湖北、重庆的碳效率实际值都显著高于迭代结果。碳交易试点政策对工业碳效率的实证结果并不随着控制组省份的不同而变化，说明结果稳健。

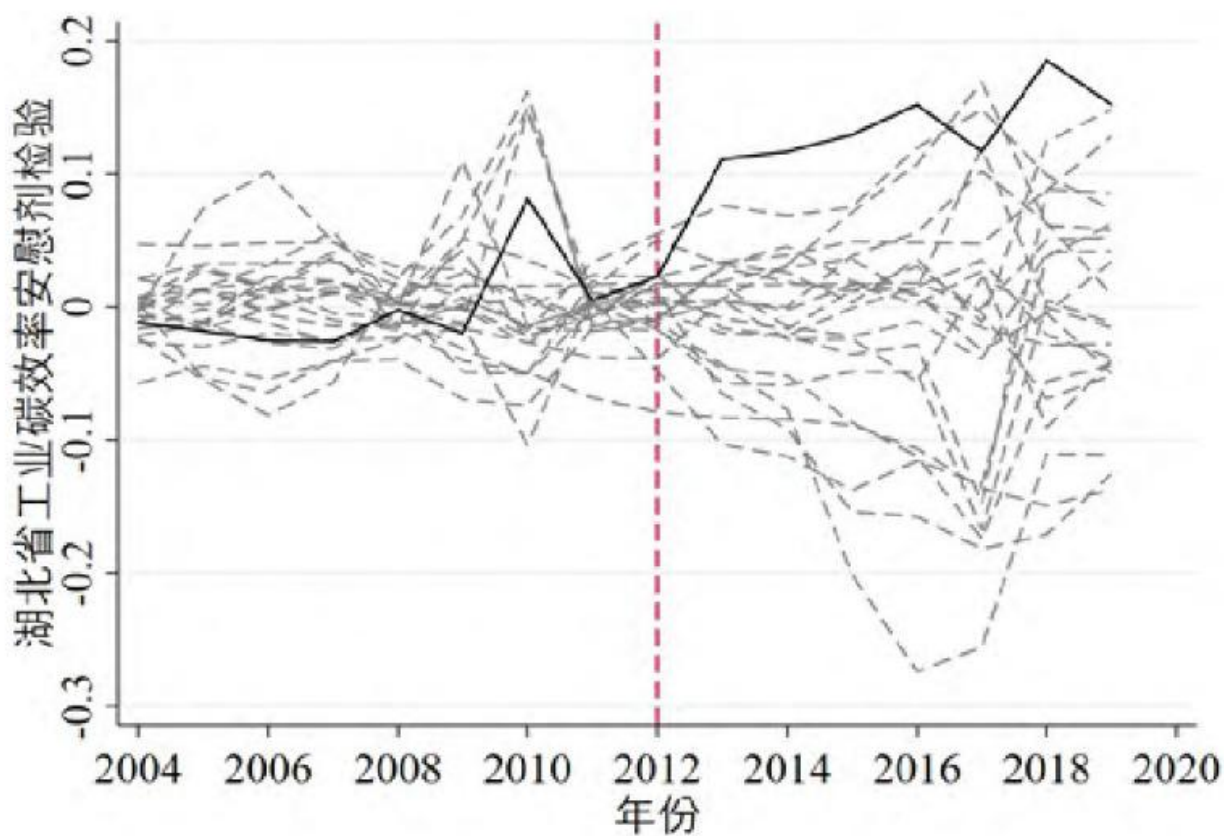


图 5 湖北工业碳效率安慰剂检验

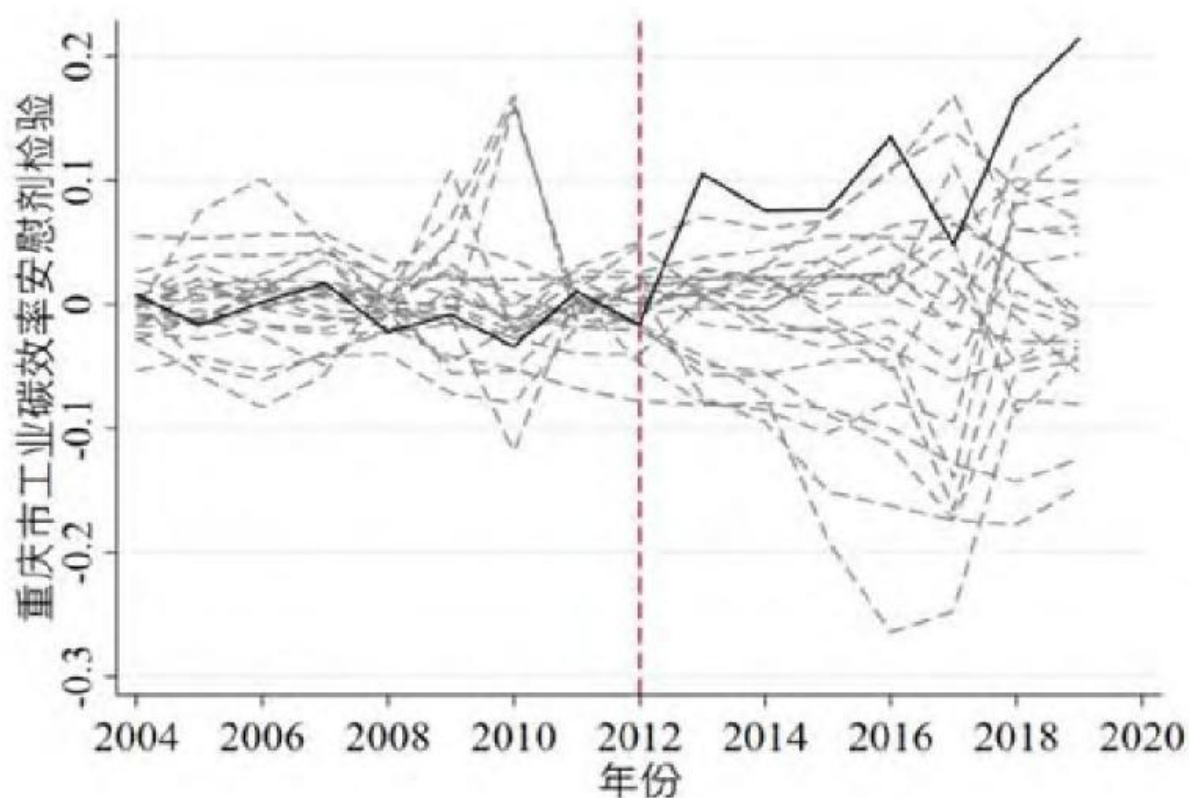


图6 重庆工业碳效率安慰剂检验

4 行业异质性分析

由于不同工业行业的能耗需求和二氧化碳排放具有很强的异质性，所以在讨论碳交易试点地区对工业碳效率的影响时，有必要进一步讨论碳交易试点政策对不同污染程度的工业行业碳效率的异质性影响。

4.1 行业污染强度指数

为了更为客观地对工业各行业的污染情况进行评估，本文采用了熵值法来计算工业各行业的污染强度指数。基于数据的可得性，本文选取的是2019年《中国环境统计年鉴》41个工业行业的数据，选择了工业二氧化硫排放量、工业颗粒物排放量、化学需氧量排放量、氨氮排放量、一般工业固体废物产生量、危险废物产生量6个指标来衡量行业污染强度指数[26, 27, 28, 29]。

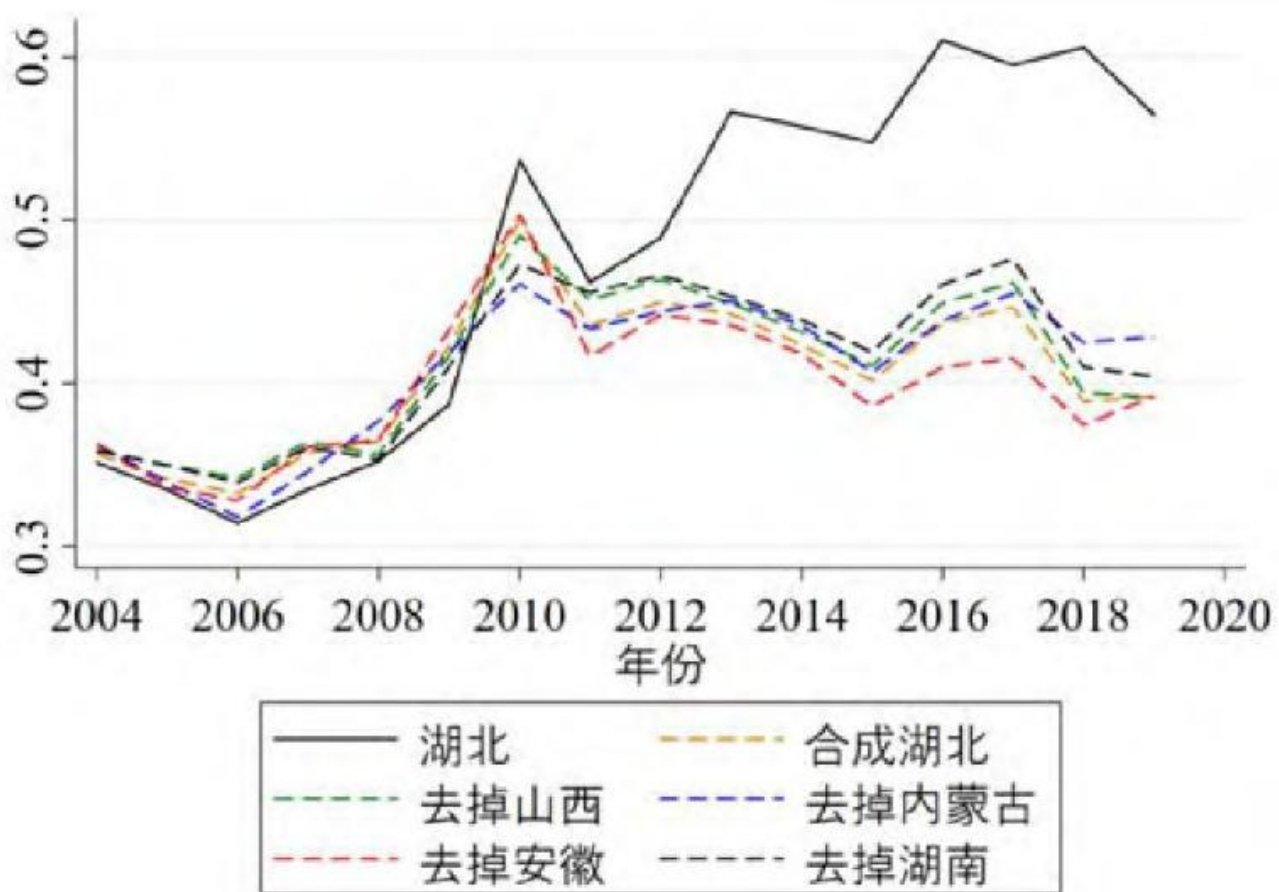


图 7 湖北迭代图

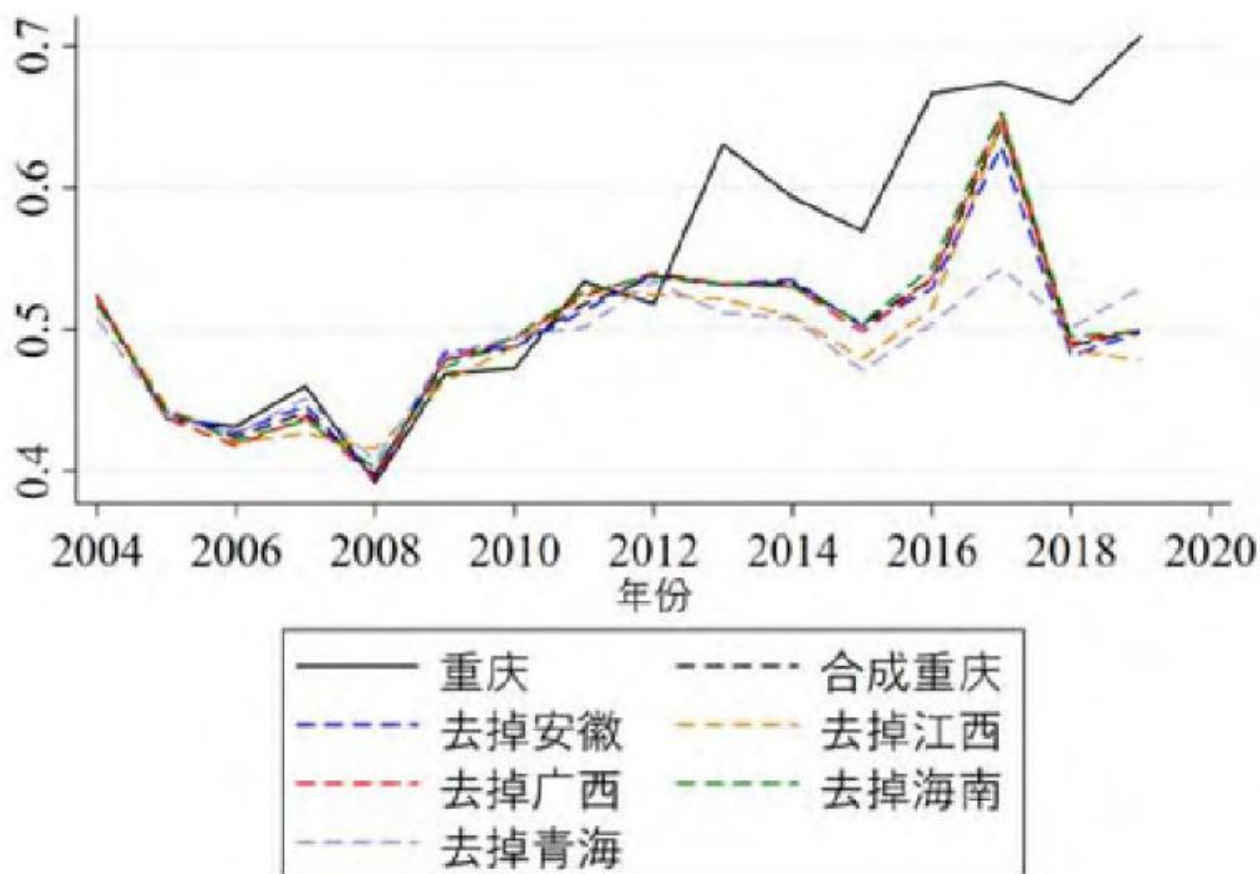


图8 重庆迭代图

4.2 行业污染等级划分

根据各行业的污染强度指数及排名，将行业污染强度指数前十认定为重污染产业，行业污染强度指数 10~20 认定为中等污染产业，剩下的认定为低污染产业¹。

图9、图10展示的是2004—2019年湖北、重庆重污染、中等污染、低污染行业碳效率的变化情况。总的来看，湖北省重污染、中等污染、低污染行业的碳效率均呈现一个波动上升的趋势但在近两年有一些轻微的回落，其中重污染行业的碳效率上升幅度最大，其次是中等污染行业碳效率，但近几年出现明显回落，低污染行业碳效率呈缓慢增长18年短暂的达到一个峰值后回落到原来水平。重庆的重污染行业碳效率呈现平缓上升的趋势2019年达到最高点约为0.5，中等污染行业碳效率增幅较大从2011年开始急剧上升达到1后并在之后年份维持在1，低污染行业波动较为剧烈总体在2014年前总的呈上升趋势2014年后总体呈下降趋势。

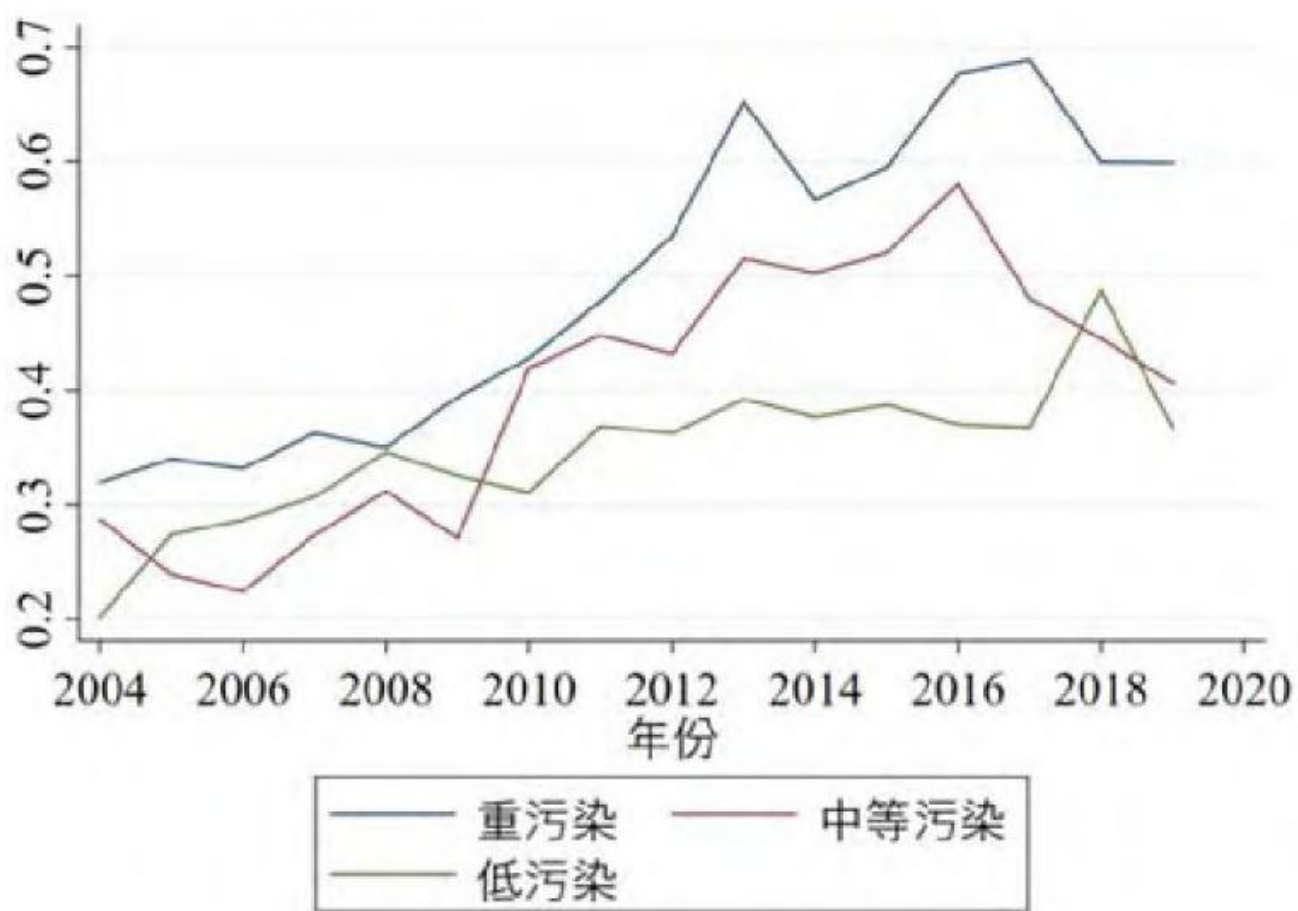


图9 湖北不同污染程度的行业碳效率

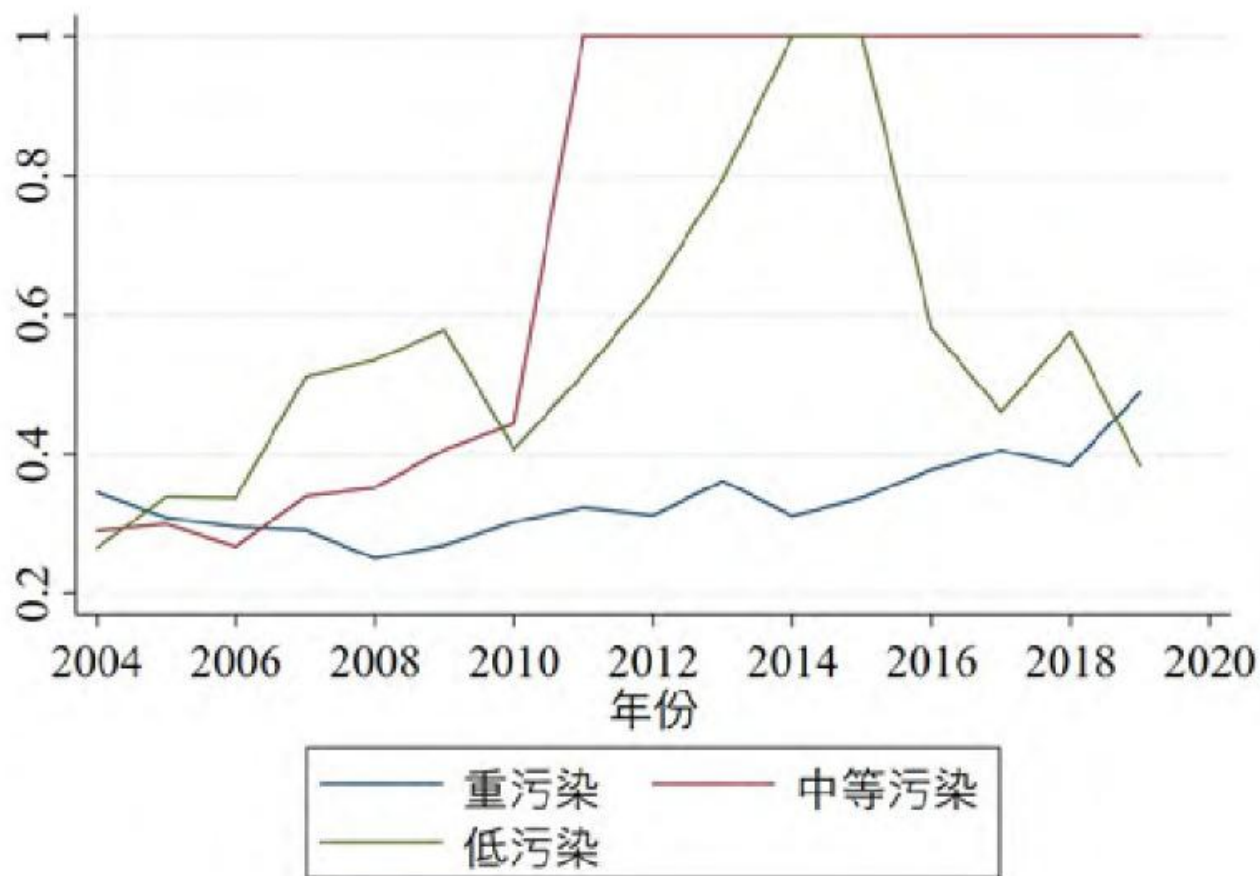


图 1 0 重庆不同污染程度的行业碳效率

图 11 展现的是湖北、重庆重污染、中等污染、低污染行业的实际行业碳效率和合成行业碳效率，测算方法与前文相同。从合成结果来看，碳交易试点政策显著提升了湖北重污染行业和中等污染行业的碳效率，对低污染行业碳效率的改善并不明显。对于重庆的合成结果可以看出，碳交易试点政策对重污染行业和中等污染行业的碳效率都有提升的效果，其中对重污染碳效率的提升不是特别明显，但显著提升了重庆中等污染行业的碳效率，对低污染行业的碳效率几乎没有影响。综上所述，碳交易试点政策对湖北和重庆重污染行业和中等污染行业的碳效率有明显的提升作用，但对它们低污染行业的碳效率影响较小，并且碳交易试点政策对湖北和重庆重污染行业、中等污染行业的影响截然不同。

4.3 对湖北和重庆碳交易试点政策的进一步讨论

本文数据包含 2004—2019 年工业 27 个行业，这 27 个行业在上文中分成的高、中、低三种不同污染程度。高、中、低三种不同污染程度的固定资产净值、平均就业人数、能源消耗量、主营业务收入、二氧化碳排放量的数据与全国工业的相关数据相比的比值在 2004—2019 年的平均数如图 12 所示。由图 12 所示，重污染行业对固定资产净值、能源消费量、二氧化碳排放量上影响较大；中等、低污染行业对平均就业人员、主营业务收入影响较大。总的来看，本文所使用的 27 个行业对整个工业行业而言较为重要，选取的重污染行业对整个工业行业影响较大。

图 13 展示的是湖北、重庆在 2004—2019 年高、中、低污染固定资产净值、平均就业人数、主营业务收入、能源消耗量、二氧化碳排放量的数据与全国工业的相关数据相比的比值的平均数。从总体来看，湖北和重庆重污染行业的固定资产净值明显高于其平均就业人数、主营业务收入，是该省市能源消耗量、二氧化碳排放量的主要来源，且能源消耗量略大于二氧化碳排放

量。湖北的重污染、中等污染、低污染行业的各项占比都高于重庆，尤其是重污染行业的各项数据。

图 14 展示了对湖北和重庆高、中、低污染行业影响最大的三个行业的碳效率随时间的变化趋势图。其中电力、热力生产和供应业是对湖北、重庆重污染行业影响最大的行业，总的来看它的波动不大。对湖北重污染行业影响较大且碳效率保持较快增长的行业是非金属矿物制品业；对重庆是黑色金属冶炼和压延加工业。从三个行业总体来看，湖北的重污染行业的碳效率是高于重庆的重污染行业，这与前文也是吻合的。计算机、通信和其他电子设备制造业是对湖北、重庆中等污染行业影响最大的行业；对于湖北，计算机、通信和其他电子设备制造业的碳效率在 2008 年急剧攀升在 2012 年迅速下降，之后在 0.4 左右波动；对于重庆计算机、通信和其他电子设备制造业的碳效率在 2008 年急剧攀升后一直保持在 1。此外对湖北中等污染行业影响较大的纺织业碳效率一直呈上升趋势，对重庆中等污染行业影响较大的医药制造业碳效率长期维持在最有效率的情形下。从三个行业总体来看，重庆的中等污染行业的碳效率是高于湖北的中等污染行业，变动的趋势受重庆计算机、通信和其他电子设备制造业的碳效率的影响较大，这与前文也是吻合的。交通运输设备制造业是对湖北、重庆低污染行业影响最大的行业；对于湖北，交通运输设备制造业的碳效率呈波动上升趋势；对于重庆，交通运输设备制造业的碳效率在 0.5 左右大幅波动。对于湖北、重庆专用设备制造业的碳效率都呈现大幅上升，但湖北、重庆低污染行业受碳交易试点政策的影响并不明显。

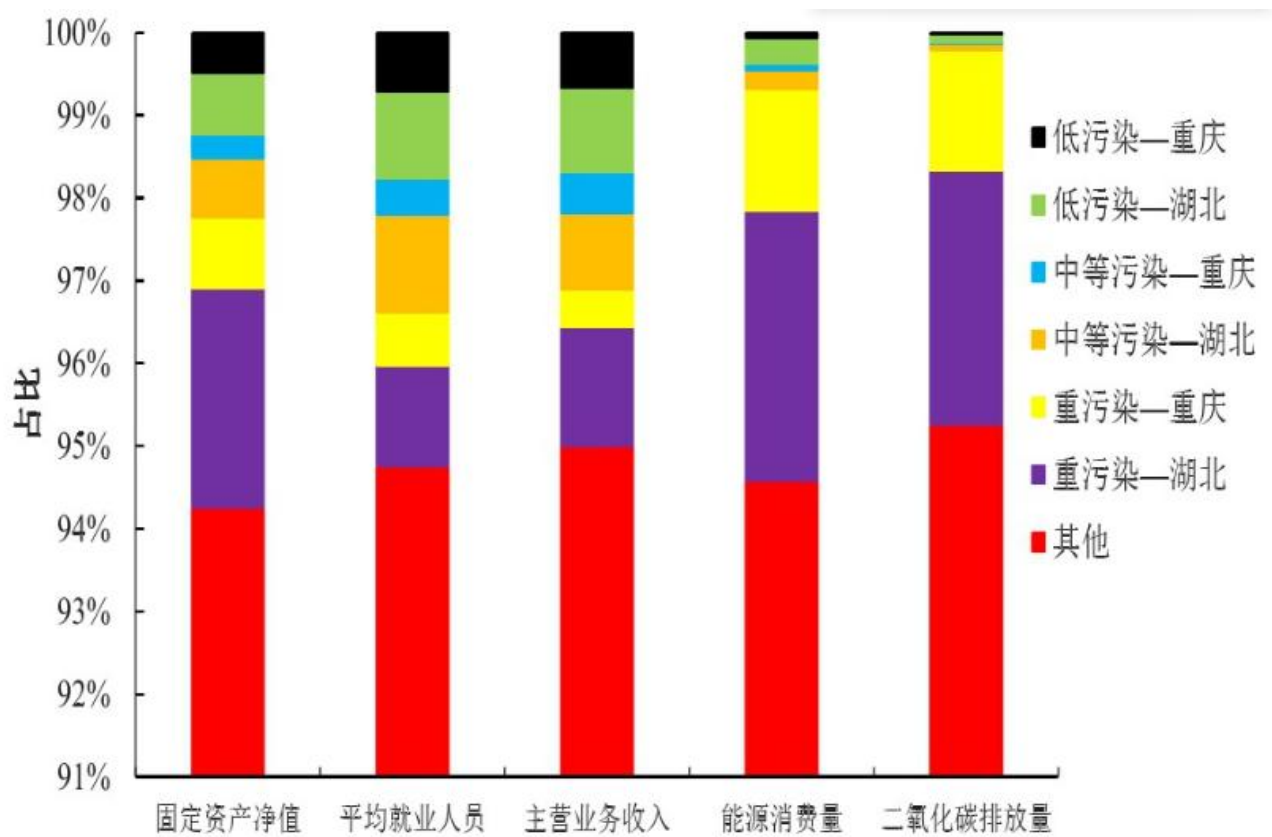


图 1 3 湖北、重庆不同污染程度行业的数据在全国占比

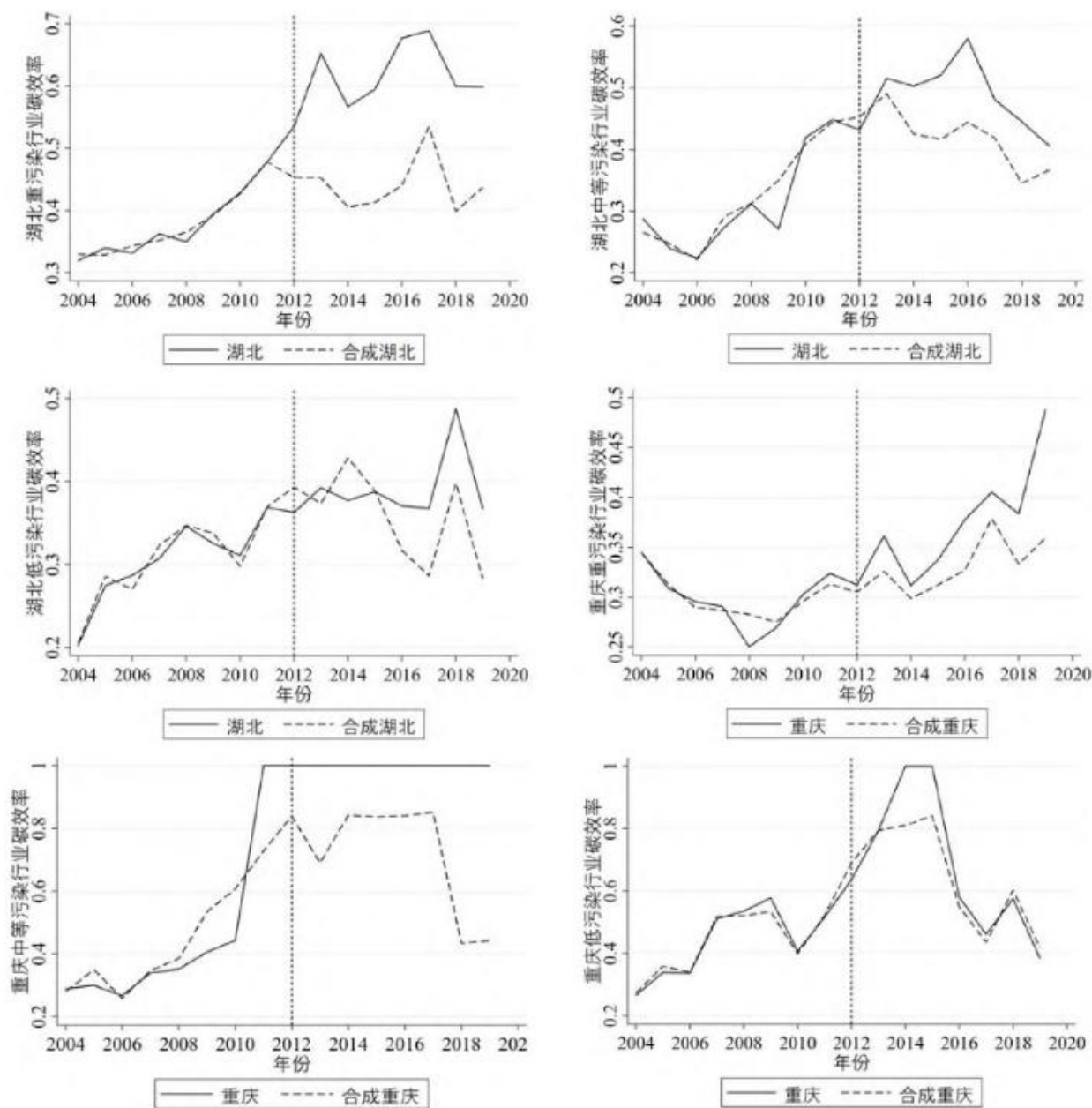


图 1 1 湖北、重庆不同污染程度的实际行业碳效率和合成行业碳效率

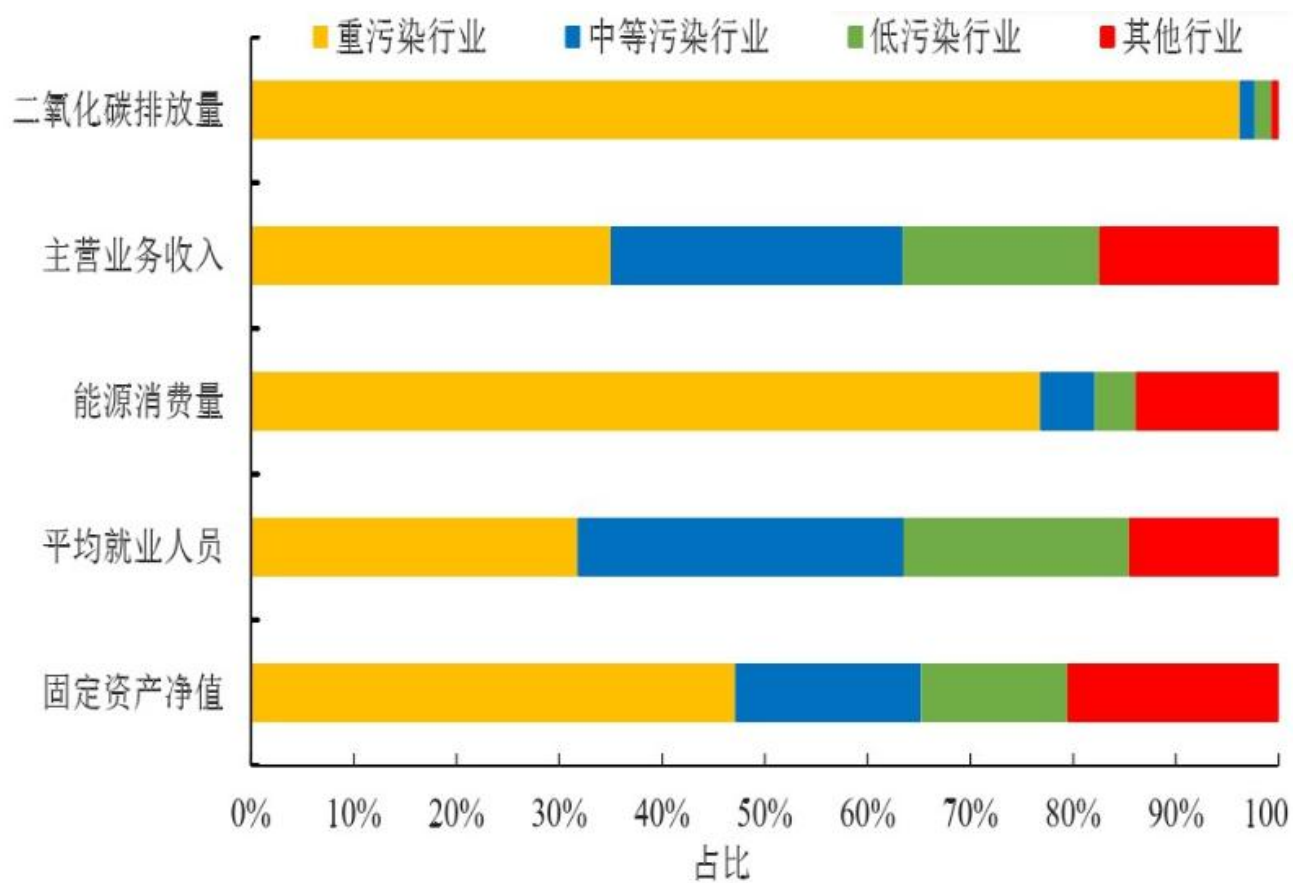


图 1 2 27 个不同污染程度行业的数据在全国占比

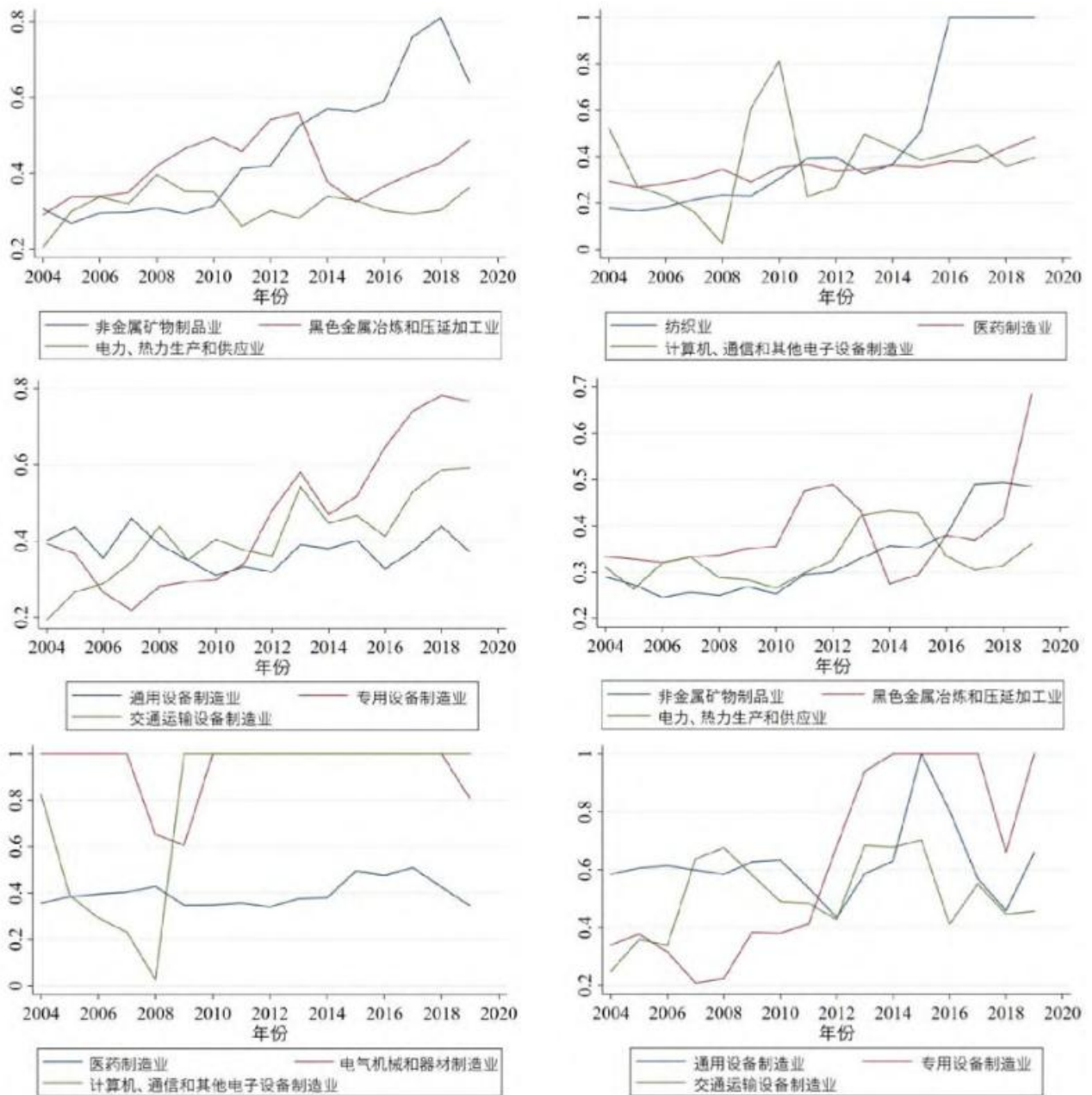


图 1 4 2004—2019 年湖北、重庆不同污染程度的细分行业的碳效率

总体而言，湖北的重污染行业的碳效率的提升更为明显，而重庆的中等污染行业的碳效率的提升更为明显。

5 结论

基于 2004—2019 年中国省级工业层面的面板数据，运用合成控制法对湖北、重庆两个关注特殊类型地区振兴的省市的试点政策的工业碳效率的影响进行比较评估，并比较分析了湖北、重庆工业碳效率的变化情况。最后对不同污染程度的工业行业的碳效率进行评估。

研究结果表明，湖北、重庆碳交易试点政策对工业碳效率的影响都十分显著，说明碳交易试点政策可以帮助特殊类型地区

实现节能降碳、绿色发展。但湖北碳交易市场的活跃度远胜于重庆碳交易市场，因此当前试点地区的碳市场工业碳效率的提升可能是市场机制与行政干预的协同作用的结果。最后，对不同污染程度的工业行业的碳效率进行评估得出，碳交易试点政策对高污染行业和中等污染行业的碳效率有明显的正向影响，对低污染行业的碳效率影响较弱。其中，湖北的工业碳效率在重污染行业方面的提升更为明显，而重庆的工业碳效率在中等污染行业方面的提升更为明显。

基于上述结论，该研究提出以下政策建议：

（1）碳交易试点政策能够显著的提升试点地区的工业碳效率，带动特殊类型地区经济绿色发展，并且碳交易机制能够以较低的成本实现减排的目标，因此国家应该进一步加快全国碳市场的建设和完善，特别是鼓励特殊类型地区企业积极参加碳市场交易。

（2）碳市场工业碳效率的提升可能是通过市场机制与行政干预的协同作用实现，说明我国需要进一步发展和完善碳市场的制度建设，增强碳交易市场对排放主体减排行为的激励效果，逐步确立碳交易市场的市场机制作用。

（3）要实现工业碳效率的提升，重污染行业的碳效率提升是关键。

参考文献：

- [1] 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.
- [2] 张希良, 张达, 余润心. 中国特色全国碳市场设计理论与实 践[J]. 管理世界, 2021, 37 (8) : 80-95.
- [3] 蓝虹, 陈雅函. 碳交易市场发展及其制度体系的构建[J]. 改 革, 2022 (1) : 57-67.
- [4] MUNNINGS C, MORGENSTERN R D, WANG Z, et al. Assessing the design of three carbon trading pilot programs in China [J]. Energy Policy, 2016, 96: 688-699.
- [5] QI S Z, WANG B , ZHANG J. Policy design of the Hubei ETS pilot in China [J]. Energy Policy, 2014.
- [6] 范庆泉, 梁美健, 乔元波. 碳排放权要素报酬与区域间再分 配机制研究[J]. 财贸经济, 2021, 42 (11) : 101-115.
- [7] 赵立祥, 赵蓉, 张雪薇. 碳交易政策对我国大气污染的协同 减排有效性研究[J]. 产经评论, 2020, 11 (3) : 148-160.
- [8] 张彩江, 李章雯, 周雨. 碳排放权交易试点政策能否实现区 域减排?[J]. 软科学, 2021, 35 (10) : 93-99.
- [9] DONG Z, XIA C, FANG K, et al. Effect of the carbon emissions trading policy on the co-benefits of carbon emissions reduction and air pollution control [J]. Energy Policy, 2022, 165: 112998.
- [10] 曾诗鸿, 李璠, 翁智雄, 等. 我国碳交易试点政策的减排效 应及地区差异[J]. 中国环境科学, 2022, 42(4): 1922-1933.
- [11] 耿文欣, 范英. 碳交易政策是否促进了能源强度的下降? : 基于湖北试点碳市场的实证[J]. 中国人口 • 资源与环境, 2021, 31 (9) : 104-113.

-
- [12]高煜君, 田涛. 碳交易对试点省市碳效率的影响机制研究 [J]. 经济问题探索, 2022 (3): 106-119.
- [13]ZHOU B, ZHANG C, SONG H, et al. How does emission trading reduce China' s carbon intensity? An exploration using a decomposition and difference-in-differences approach [J]. Science of the Total Environment, 2019, 676: 514-523.
- [14] ZHANG X, LU F, XUE D. Does China' s carbon trading policy improve regional energy efficiency?: An analysis based on quasi experimental and policy spillover effects [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021, 29 (14): 21166-21183.
- [15] LI W, ZHANG Y W, LU C. The impact on electric power industry under the implementation of national carbon trading market in China: A dynamic CGE analysis [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 200: 511-523.
- [16] ZHANG H, DUAN M, DENG Z. Have China' s pilot emissions trading schemes promoted carbon emission reductions?: The evidence from industrial sub-sectors at the provincial level [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 234: 912-924.
- [17]贾智杰, 温师燕, 朱润清. 碳排放权交易与全要素碳效率: 来自我国碳交易试点的证据[J]. 厦门大学学报(哲学社会科学版), 2022, 72 (2): 21-34.
- [18] 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: 493-505.
- [19] YAN D, LEI Y, LI L, et al. Carbon emission efficiency and spatial clustering analyses in China' s thermal power industry: Evidence from the provincial level [J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 156: 518-527.
- [20] ZHOU Y, LIU W, LYU X, et al. Investigating interior driving factors and cross-industrial linkages of carbon emission efficiency in China' s construction industry: Based on Super-SBM DEA and GVAR model [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 241: 118322.
- [21] WANG J, LI J, ZHANG Q. Does carbon efficiency improve financial performance? Evidence from Chinese firms [J]. Energy Economics, 2021, 104: 105658.
- [22] GUAN Y R, SHAN Y L, HUANG Q L, et al. Assessment to China' s recent emission pattern shifts [J]. Earth' s Future, 2021, 9: e2021EF002241.
- [23] SHAN Y L, GUAN D B, ZHENG H R, et al. China co2 emission accounts 1997-2015 [J]. Scientific Data, 2018, 5 (1): 170201.
- [24]吴茵茵, 齐杰, 鲜琴, 等. 中国碳市场的碳减排效应研究: 基于市场机制与行政干预的协同作用视角[J]. 中国工业经济, 2021 (8): 114-132.

[25] 苏治, 胡迪. 通货膨胀目标制是否有效? : 来自合成控制法 的新证据[J]. 经济研究, 2015, 50 (6) : 74-88.

[26] 苏丹妮, 盛斌. 产业集聚、集聚外部性与企业减排: 来自 中国的微观新证据[J]. 经济学(季刊), 2021, 21(5): 1793-1816.

[27] 何龙斌. 国内污染密集型产业区际转移路径及引申: 基于 2000-2011 年相关工业产品产量面板数据[J]. 经济学家, 2013 (6) : 78-86.

[28] 朱喜安, 魏国栋. 嫡值法中无量纲化方法优良标准的探讨 [J]. 统计与决策, 2015 (2) : 12-15.

[29] 魏敏, 李书昊. 新时代中国经济高质量发展水平的测度研究 [J]. 数量经济技术经济研究, 2018, 35 (11) : 3-20.

注释

1 重污染行业包含: 煤炭开采和洗选业, 有色金属矿采选业, 农副食品加工业, 造纸及纸制品业, 石油、煤炭及其他燃料加工业, 化学原料和化学制品制造业, 非金属矿物制品业, 黑色金属冶炼和压延加工业, 有色金属冶炼和压延加工业, 电力、热力生产和供应业; 中等污染行业包含: 黑色金属矿采选业, 非金属矿采选业, 食品制造业, 酒、饮料和精制茶制造业, 纺织业, 医药制造业, 化学纤维制造业, 金属制品业, 计算机、通信和其他电子设备制造业; 其余工业行业为低污染行业。以上公布的是 41 个工业行业的划定标准, 最终本文按此标准对行业进行划分。