

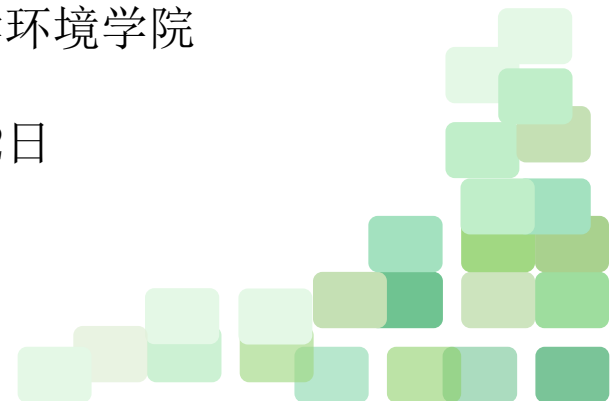


流域横向生态补偿政策是否能够改善环境质量？ ——来自全国流域上游城市碳与工业废水排放的证据

王琦 刘子刚

中国人民大学环境学院

2022年11月12日





目录

□一、引言

□二、文献综述

□三、实验设计

□四、实证结果

□五、机制检验

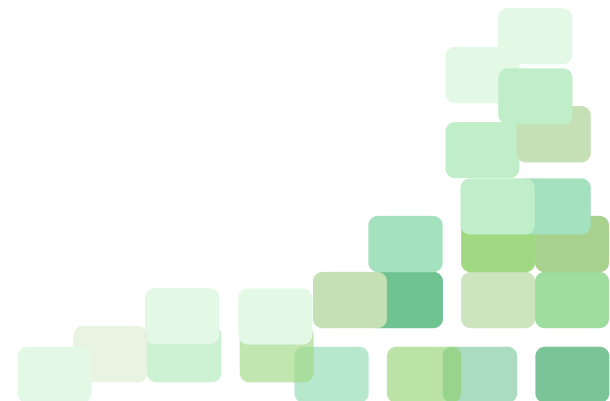
□六、结论与建议





一、引言

- 横向生态补偿是中国在现行管理机制下推进生态文明建设和主体功能区战略的重要制度创新
- 流域横向生态补偿是解决流域资源管理与水污染问题的重要手段
- 中央多次强调建立与完善生态补偿机制，特别是横向生态补偿机制的建立与完善
- 在政策实践层面，跨省与跨市（县区）流域横向生态补偿不断“开花”
- 其他领域如森林、湿地、耕地、空气等也相继开展
- 流域横向生态补偿政策环境效应的科学评估是进一步完善流域生态环境保护补偿机制体系的基础，对推进生态环境治理体系和治理能力的现代化具有重要意义





一、引言-背景知识

➤ 流域横向生态补偿

◆ 定义

- 以保护和可持续利用生态系统为目的，通过采用公共政策或市场化手段将生态保护的经济社会外部性内部化，调节不具有行政隶属关系的地区与地区之间利益关系的制度安排
- 不具有行政隶属关系的区域，包括省-省、市-市、县-县、省-市、省-县、市-县等

◆ 种类

- 双向补偿-断面水质达标下游补偿上游、水质不达标上游赔偿下游（新安江流域横向生态补偿协议）
- 单向补偿-上游不达标补偿下游（《河南省海河流域水环境生态补偿实施办法》）
下游出资与上游共治（赤水河流域横向生态补偿协议）





二、文献综述

➤ 研究现状

- ◆ 流域横向生态补偿提供优质生态产品，是政策关注的核心问题，也是研究热点
- ◆ 当前研究主要以新安江、黄河流域等某具体流域或某一省份为研究对象，通过双重差分模型与系统合成控制法来分析其对工业废水排放量(排放强度)、化学需氧量排放量、氨氮排放量、总体性和结构性（水质净化能力、提供生态产品能力）等水环境指标进行生态环境效应研究，还有极少数学者分析了其对碳排放的影响
- ◆ 影响机制主要是通过地方政府环境治理投资、改变工业结构、促进技术创新、提升经济水平、加强公众环保意识以及增加国有企业占比等途径实现水质改善
- ◆ 大部分学者研究了流域生态补偿对流域上下游整体的环境效应，少数学者聚焦上游地区





二、文献综述

➤ 不足之处

- ◆ 一是当前政策环境效应评估对就某一具体项目(流域)等展开, 缺乏大范围的效应评估
- ◆ 二是时间、空间异质性的讨论不足, 对全国不同区域整体效果及不同试点期的差异性效果讨论很少
- ◆ 三是忽略生态系统的整体性, 仅对水环境的效应展开分析, 其他环境效应较少被纳入研究范围
- ◆ 四是该政策主要通过约束与奖励上游地区的排污行为来达到整条流域的环境治理改善, 应聚焦上游地区的环境治理改善效应

➤ 研究问题提出

- ◆ 全国范围内实施流域横向生态补偿是否显著改善了上游城市的环境质量?
 - 流域横向生态补偿政策建设是否具有显著的碳减排效应?
 - 流域横向生态补偿政策建设是否具有显著的污染减排效应?
 - 减排作用机理分析?





二、理论分析

- H1:流域横向生态补偿能够改善上游城市水环境质量，实现水环境改善效应
 - ◆ 该政策通过水质达标“奖励补偿”和水质超标“罚款赔偿”双重约束上游城市保护流域生态环境
 - ◆ 上游城市首要目的是治污减排、改善水质、提升流域生态环境质量
 - ◆ 已有**案例**研究表明,流域横向生态补偿有利于降低河流水污染强度

- H2:流域横向生态补偿能够降低上游城市碳排放量，实现碳减排效应
 - ◆ 生态系统具有整体性，系统内部各种因素及生态系统之间的相互联系，具有功能和结构的依赖性
 - ◆ 应对气候挑战和生态环境保护在治理目标、治理路径、监管主体等方面具有协同性
 - ◆ 流域生态补偿政策的绩效不仅局限于水环境改善，还包括其余生态系统服务，例如固碳释氧、净化大气环境





二、理论分析

➤ H3:流域生态补偿能够通过促进产业结构高级化、绿色技术创新来实现工业废水和碳减排效应

◆ 学术界对产业结构升级、技术创新的污染减排效应已给予充分肯定

- 流域横向生态补偿政策对补偿资金用途做了原则性规定,主要包括流域污染治理、产业结构优化转型等方面
- 流域横向生态补偿作为一种环境规制手段,会激励企业技术创新,通过研发污染控制技术、优化生产工艺以及生产低污染或无污染新产品以实现环境保护
 - ✓ 科学技术创新通过研发绿色生产工艺、优化污染治理技术等,提高资源利用效率,降低单位产出的污染排放
 - ✓ 科学技术创新通过培育高新技术产业替代传统高污染产业,优化生产要素配置,提高生产效率,从而降低污染水平





三、实验设计

➤ 研究方法:

◆ 交错双重差分方法:

$$\ln y_{it} = \alpha + \beta dd_{it} + \gamma X_{it} + v_i + \mu_t + \varepsilon_{it}$$

- y_{it} 为城市 i 在 t 年的工业废水排放量/工业碳排放强度
- dd_{it} 为城市 i 在 t 年是否实施了流域横向生态补偿政策
- X_{it} 为城市 i 在控制变量
- v_i 表示城市固定效应
- μ_t 表示年固定效应
- ε_{it} 表示随机误差项





三、实验设计

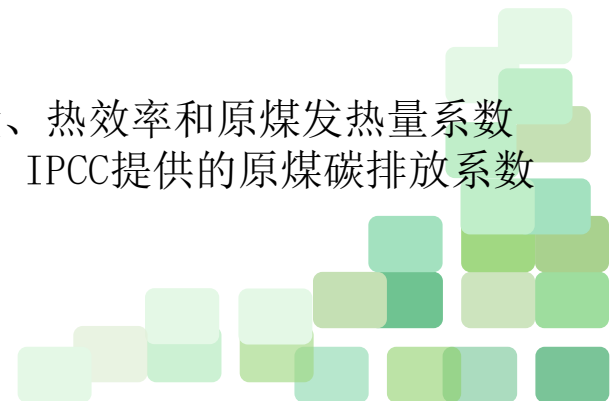
- 研究范围：全国266个地级市(数据缺失严重城市删除) 研究时间：2007年~2019年
- 变量选取
 - ◆ 被解释变量：工业废水排放量(ww)、工业二氧化碳排放强度(coi)
 - ◆ 核心解释变量：是否实施流域横向生态补偿
 - 对跨省、跨市流域横向生态补偿协议、水断面考核办法中横向生态补偿提到的上游地级市进行整理，并赋值为1，反之为0
 - ◆ 控制变量：
 - 政府干预：财政支出/GDP(eg)
 - 对外开放水平：外商直接投资/GDP(fg)
 - 研发支出：科学技术财政支出/财政支出(se)
 - 经济发展水平：GDP
 - 人口：年末人口数量(pop)
 - 金融发展：年末金融贷款余额/GDP(fdg)





三、实验设计

- 数据处理 绝对值量取对数、GDP、工业增加值取剔除价格影响取实际值
- 数据来源：中国城市统计年鉴、中国城市建设统计年鉴各省市统计年鉴、依申请公开资料
- 城市碳排放计算(吴建新和郭智勇, 2016)
 - ◆ 城市碳排放既包括直接能源消耗产生的碳排放，如煤气和液化石油气等，也包括电能和热能消耗产生的碳排放
 - 直接能源消耗的碳排放可利用IPCC2006 提供的相关转化因子计算
 - 电能消耗产生的碳排放：采用6大区域电网基准线排放因子和城市电能消耗量计算
 - 交通运输消耗的能源和碳排放，假设各类运输方式的能源消耗强度和碳排放强度成比例，利用运输部门消耗的各类能源计算出不同运输方式单位客运量和货运量的能源消耗，根据客运量和货运量计算出交通运输能源消耗和碳排放
 - 城市热能主要有锅炉房供热和热电厂供热两种，原料多为原煤，利用供热量、热效率和原煤发热量系数计算原煤数量，再利用原煤折算标准煤系数，计算集中供热消耗的能源数量，IPCC提供的原煤碳排放系数





四、实证结果

➤ 基准回归结果-工业废水排放量

变量	(1) lnww	(2) lnww	(3) lnww	(4) lnww
dd	-0.1936*** (-4.4796)	-0.1019** (-2.1872)	-0.3160*** (-10.4483)	-0.0914** (-2.0315)
GDP			0.6166*** (17.7309)	-5.0536 (-0.8898)
pop			0.2250*** (7.8386)	0.9298*** (3.4746)
se			3.7665*** (3.5390)	-0.4890 (-0.3809)
fdg			-0.2420*** (-8.0298)	0.0016 (0.0333)
fg			3.4730*** (4.8878)	-2.6048** (-2.5914)
eg			-1.5334*** (-4.2478)	-0.1482 (-0.6113)
Constant	8.3953*** (432.8481)	8.3774*** (918.5393)	3.4164*** (18.8557)	35.9397 (0.9724)
Observations	3,458	3,458	3,458	3,458
R-squared	0.0057	0.8737	0.5410	0.8769
city fe	no	yes	no	yes
year fe	no	yes	no	yes

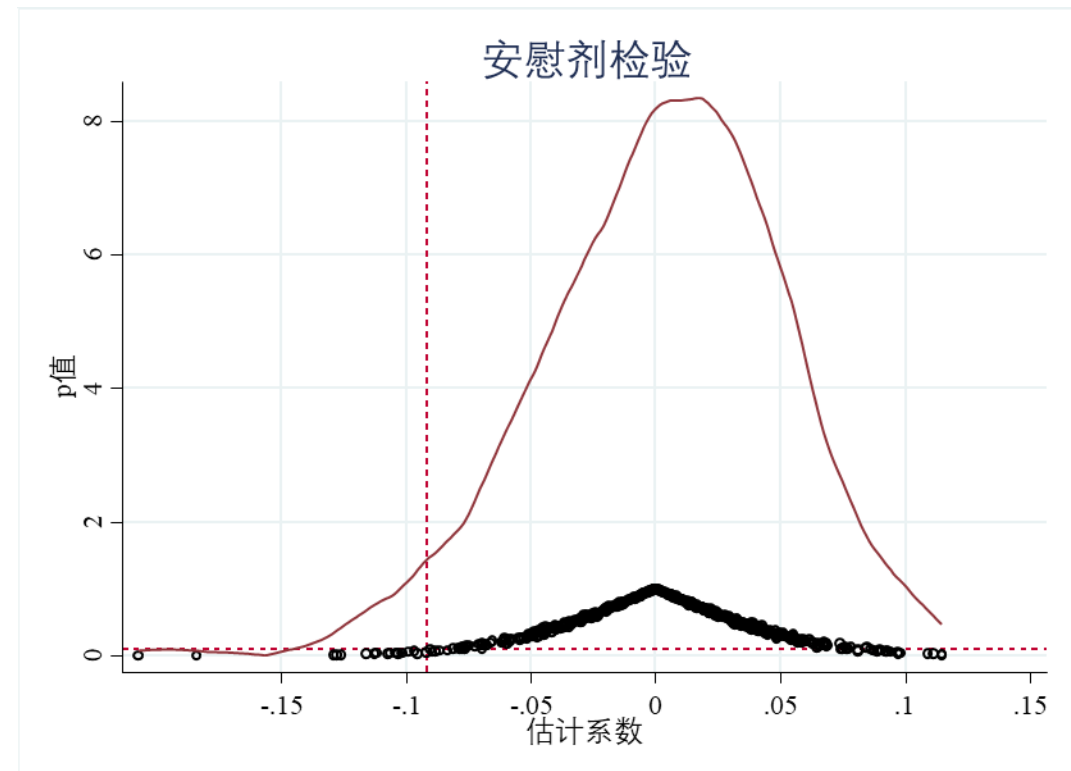
- 列1和列2分别给出了仅控制个体固定效应和时间固定效应而未加入其他控制变量的回归结果，可看出实施流域横向生态补偿对工业废水排放量呈负向影响且均通过了5%水平的显著性检验
- 列3和列4中加入影响水污染指标的控制变量后可发现实施该政策对工业废水排放量仍呈负向影响且通过了 5%水平的显著性检验 该结果表明流域生态补偿显著降低了工业废水排放量，改善了城市水环境质量





四、实证结果

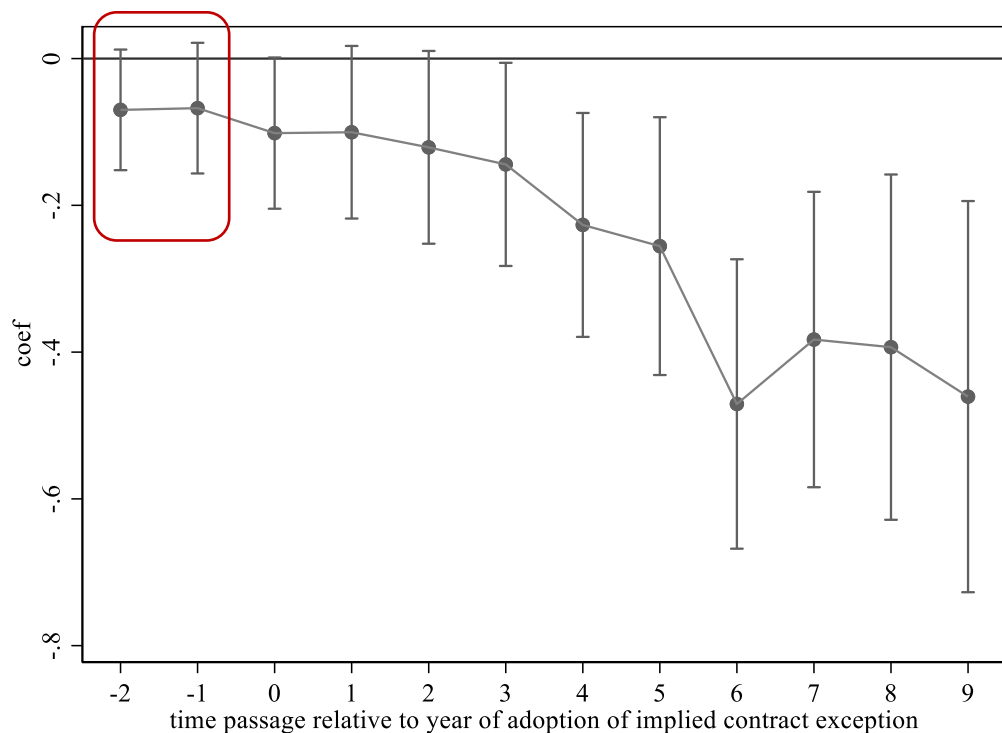
- （二）稳健性检验-工业废水排放量
- ◆ 1安慰剂检验





四、实证结果

- （二）稳健性检验-工业废水排放量
- ◆ 2平衡性检验-事件研究法



参照BECK et al等的研究对实验组与对照组的工业废水排放量进行事前平衡趋势检验

$$\ln y_{it} = \alpha + \beta_1 dd_{it}^{-3} + \beta_2 dd_{it}^{-2} + \dots +$$

$$\beta_1 dd_{it}^{+9} + \gamma X_{it} + v_{it} + \mu_{it} + \varepsilon_{it}$$

其中， dd_{it}^{-j} 在城市*i*实施政策前的前*j*年为1，否则为0； dd_{it}^{+j} 在城市*i*实施政策后的后*j*年为1，否则为0

以-3年为基期，95%的置信区间

发现在实施政策前的年份里，实验组与对照组在工业废水排放量上具有相同的事前趋势

图中还可知道政策实施的动态效应 政策实施效果具有时滞性与持续性，在实施政策第三年之后政策效果开始显现。



四、实证结果

➤ （二）稳健性检验-工业废水排放量

◆ 3bacon分解

- 政策实施对实验组的工业废水排放量的改善效应不断提升，存在时间异质性，TWFE估计量可能存在偏误

- 使用培根分解法分解基准回归中的政策处理效应

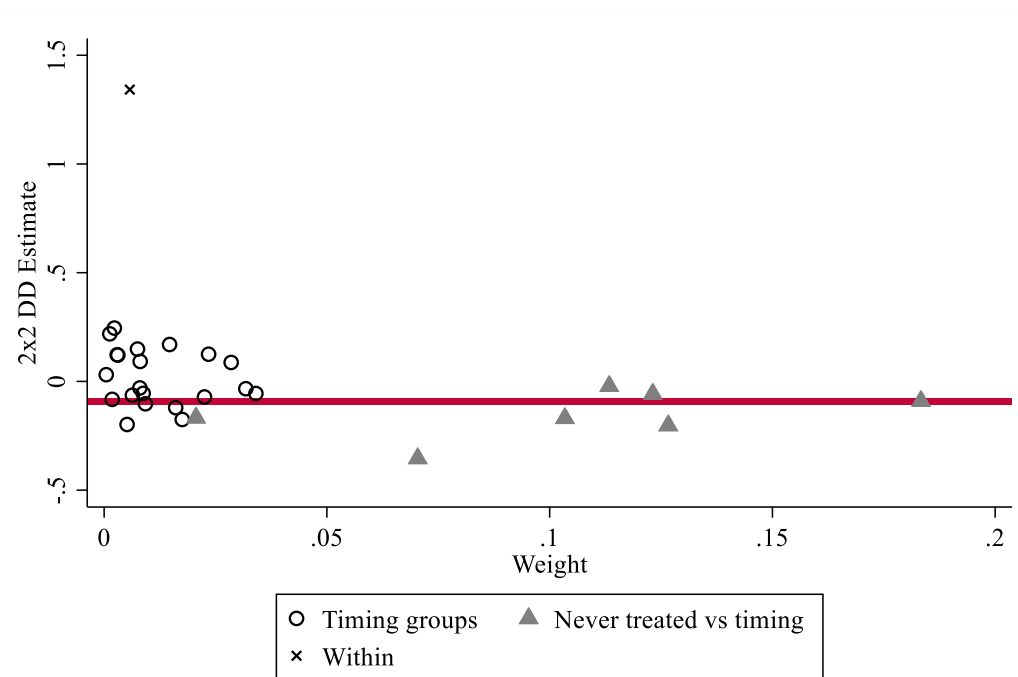
（早处理组vs为处理组 晚处理组vs为处理组
早处理组vs晚处理组 晚处理组vs早处理组）

- ▲代表时变组与未处理组

- 代表时变组互相比

- 横轴 该系数构成TWFE估计量的权重

- 纵轴 表示标准DID的系数



Overall DD Estimate = -.09141176
Within component = 1.3423322 (weight = .00574833)



四、实证结果

➤ （二）稳健性检验-工业废水排放量

◆ 3bacon分解

- Timing_groups 表示时变组的估计量加权和
- Never_v_timing表示时变组与未处理组标准DID的估计量加权和
- 不存在标准偏误的时变组与未处理组标准DID的估计量加权和占基准回归的74.09%，存在偏误

Bacon Decomposition

	Beta	TotalWeight
Timing_groups	-.0054408145	.2533007693
Never_v_timing	-.1319247566	.7409508961
Within	1.342332244	.0057483347





- ◆ 4两阶段did(Gardner2021)-列1 政策效应略大于TWFE估计量
- ◆ 5替换被解释变量-人均工业废水排放量、工业废水排放强度-列2、3
- ◆ 6控制变量取滞后项-列4
- ◆ 7排除干扰性政策（水生态文明城市、水权交易城市、海绵城市）-列5、6、7
- ◆ 8筛选样本（去除省会城市）-列8
- ◆ 7内生性检验-逐年PSM-DID-列9
- ◆ 基准结果与稳健性结果更接近，下述分析仍采用TWFE估计量



四、实证结果

➤ （一）基准回归结果-工业碳排放强度

列1和列2分别给出了仅控制个体固定效应和时间固定效应而未加入其他控制变量的回归结果，可看出实施流域横向生态补偿对工业碳排放强度呈负向影响且均通过了5%水平的显著性检验

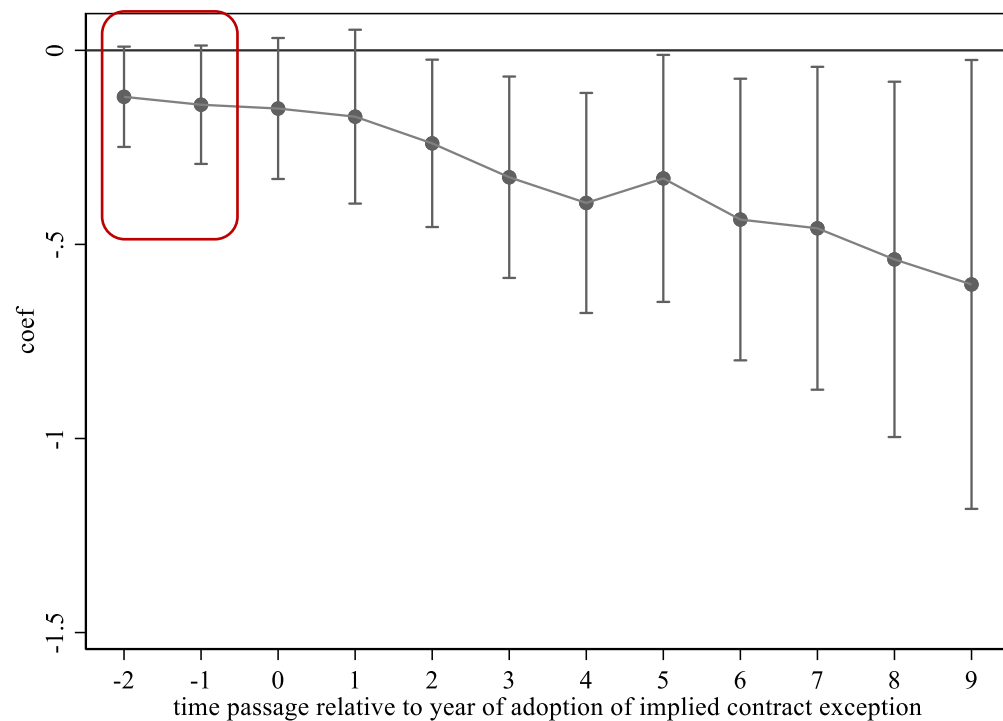
列4中加入影响水污染指标的控制变量后可发现实施该政策对工业碳排放强度仍呈负向影响且通过了10%水平的显著性检验 该结果表明流域生态补偿显著降低了工业碳排放强度

变量	(1) coi	(2) coi	(3) coi	(4) coi
dd	-0.2161*** (-3.4921)	-0.1621** (-1.9702)	-0.0404 (-0.7288)	-0.1538* (-1.8754)
lngdp			0.1448** (1.9742)	4.5179 (0.5573)
lnpop			-0.8949*** (-11.4710)	0.4894 (1.3114)
se			-5.2597** (-2.2948)	-0.4517 (-0.1660)
fdg			0.9911*** (10.1648)	0.1151 (1.3034)
fg			-7.9979*** (-6.1445)	-2.9063 (-1.4809)
eg			0.5342 (0.8016)	-0.2007 (-0.6641)
Constant	1.9593*** (59.4739)	1.6247*** (42.5011)	5.5502*** (13.9228)	-30.4291 (-0.5738)
Observations	3,458	3,458	3,458	3,458
R-squared	0.0026	0.2001	0.2091	0.2057
city fe	no	yes	no	yes
year fe	no	yes	no	yes
Number of id		266		266

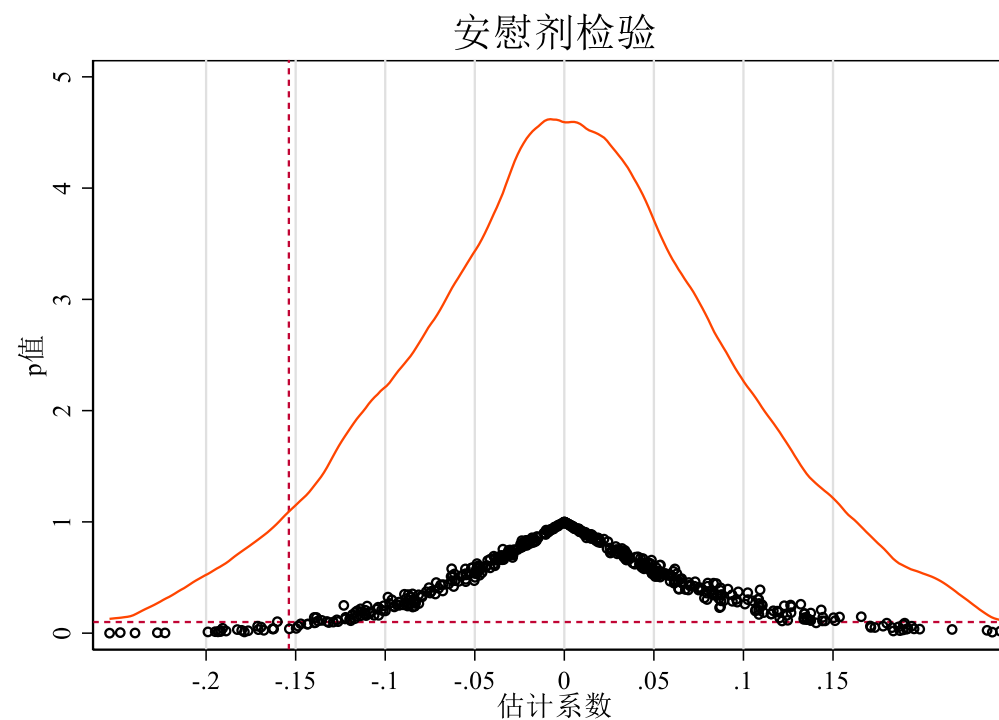


四、实证结果

- （二）稳健性检验-工业碳排放强度
- ◆ 1平衡性检验-事件研究法



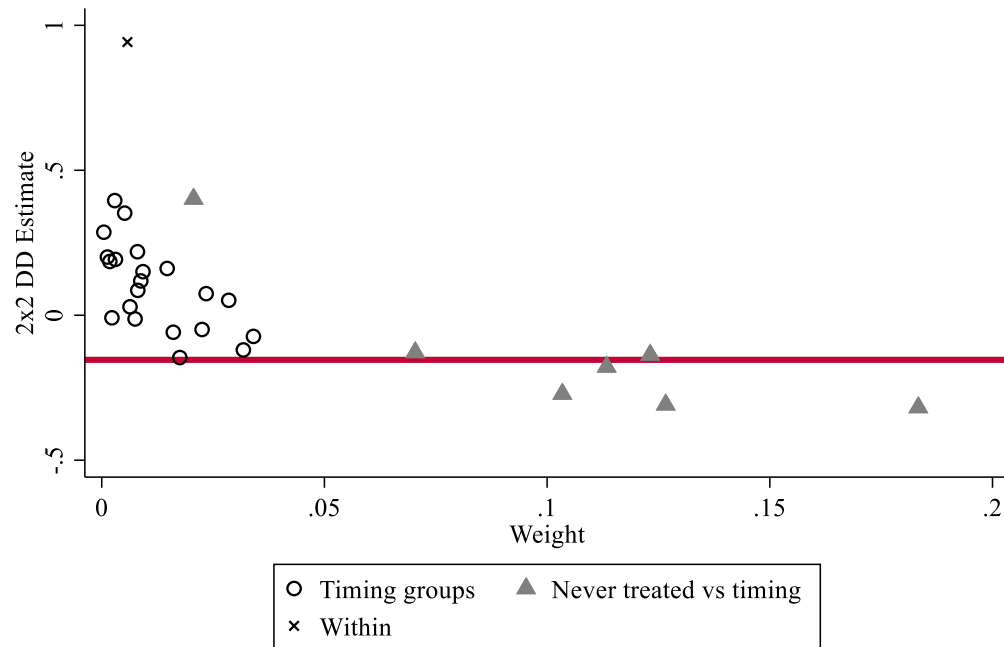
2安慰剂检验





四、实证结果

- (二) 稳健性检验-工业碳排放强度
- ◆ 3bacon分解



Overall DD Estimate = $-.15378872$
Within component = $.94260699$ (weight = $.00574833$)

Bacon Decomposition

	Beta	TotalWeight
Timing_groups	.0156955746	.2533007693
Never_v_timing	-.2202343568	.7409508961
Within	.9426069856	.0057483347





四、实证结果

- （二）稳健性检验-工业废水排放量
- ◆ 两阶段did-列5 效应更大更显著
 - ◆ 控制变量取滞后项-列2
 - ◆ 排除干扰性政策（低碳排放城市）-列3
 - ◆ 筛选样本（去除省会城市）-列4
 - ◆ 内生性检验-逐年PSM-DID-列1

变量	(1) coi	(2) coi	(3) coi	(4) coi	(5) coi
dd	-0.1387* (0.07718)	-0.1550* (-1.9217)	-0.1529* (-1.8888)	-0.2095** (-2.2302)	
1.dd					-0.1953** (-2.2220)
Constant	-45.9606 (54.0354)	-0.5783 (-0.2539)	-13.2447 (-0.2493)	-2.6932 (-1.1065)	
Observations	3,217	3,192	3,458	2,976	3,458
R-squared	0.8616	0.8651	0.2088	0.8506	
city fe	yes	yes	yes	yes	yes
year fe	yes	yes	yes	yes	yes
Number of id			266		





四、实证结果

➤ （三）异质性检验

◆ 人均gdp中位数-经济水平

- 工业废水排放量-经济水平更高的城市流域横向生态补偿效果更好
- 工业碳排放强度-无差别

◆ 水资源量中位数-水资源禀赋

- 工业废水排放量-水资源禀赋更高的城市流域横向生态补偿效果更好

变量	(1) pgdp	(2) pgdp	(3) water	(4) water	(1) pgdp	(2) pgdp
dd	-0.0146 (-0.2049)	-0.1776*** (-3.1842)	-0.0486 (-0.9262)	-0.1038* (-1.9598)	-0.0862 (-0.6553)	-0.1179 (-1.3939)
Constant	33.7185 (0.5320)	4.7298 (0.1177)	57.9287 (1.0688)	25.8085 (0.4734)	-40.8226 (-0.4572)	-15.2758 (-0.2223)
Observations	1,721	1,711	1,729	1,728	1,721	1,711
R-squared	0.8608	0.9283	0.8901	0.8895	0.8595	0.9339
city fe	yes	yes	yes	yes	yes	yes
year fe	yes	yes	yes	yes	yes	yes



五、机制检验-中介效应

变量	(1) lninn	(2) tgl	(3) lnww1
tgl			-0.5337*** (-3.1981)
dd	-0.0295 (-0.7561)	0.0238** (2.4179)	-0.0791* (-1.7914)
Constant	5.1399 (0.1485)	-3.6217 (-0.5292)	6.8254*** (3.3611)
Observations	3,458	3,458	3,458
R-squared	0.8617	0.7529	0.3906
Number of id	266	266	266
city fe	yes	yes	yes
year fe	yes	yes	yes

- 产业结构高度化-产业高级化指数(付凌晖(2010))
- ◆ 通过研究空间解析几何三维向量夹角的思路, 来表征产业结构提升程度
- ◆ 三次产业比重沿着第一、二、三产业的顺序不断上升

$$\theta_j = \arccos \left(\frac{\sum_{i=1}^3 (x_{i,j} \cdot x_{i,0})}{\left(\sum_{i=1}^3 (x_{i,j}^2)^{1/2} \cdot \sum_{i=1}^3 (x_{i,0}^2)^{1/2} \right)} \right)$$

$j = 1, 2, 3$

$$W = \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^k \theta_j$$

- ◆ 三次产业增加值占GDP的比重作为空间向量中的一个分量, 构成一组3维向量 $X_0 = (X_{1,0} \ X_{2,0} \ X_{3,0})$, 计算 X_0 与产业由低层次到高层次排列的向量 $X_0 = (1, 0, 0)$, $X_2 = (0, 1, 0)$, $X_3 = (0, 0, 1)$ 的夹角 $\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3$, 产业结构高级化值 W
- 绿色创新-绿色专利申请量
- ◆ 数据来源与计算: 搜集国家知识产权局公布的所有专利申请信息并根据世界知识产权组织提供的绿色专利清单和国际分类编码, 将其中的绿色专利申请量加总至城市层面而获得
- 政策主要通过促进产业高级化指数增加来达到降低工业废水排放量



六、结论与进一步讨论

➤ 结论

- ◆ 流域横向生态补偿显著改善了上游城市水环境质量与城市碳排放，基于多种方法和策略开展的稳健性检验结果佐证了该结论的可信性
- ◆ 流域横向生态补偿对城市水环境质量与城市碳排放的改善作用具有持续性，边际贡献呈现出波动增加的特征
- ◆ 流域横向生态补偿的水污染治理效果在不同类型的城市间存在差异，具体而言在经济发展水平较高、水资源禀赋较低高的城市中流域横向生态补偿的污染治理效果更为明显，而工业碳排放强度不存在差异
- ◆ 机制检验结果显示流域横向生态补偿主要提高改善产业结构高级化效应作用渠道改善环境质量

➤ 政策建议

- ◆ 水污染治理过程中，需要根据各地的水资源禀赋和经济社会发展状况，有针对性地进行流域横向生态补偿的顶层设计，形成各具特色的补偿模式
- ◆ 水污染治理不能仅依靠政府的力量，也不能忽视社会资金对流域横向生态补偿效果的影响，应建立健全政府引导市场推动社会参与的环保投入机制，鼓励社会资金参与

