

低碳城市建设能否助力政府实现碳达峰碳中和目标？ ——基于低碳城市试点的准自然实验

王胜今 朱润酥¹

【摘要】 利用低碳城市试点这一准自然实验，采用 2003-2017 年地级市层面数据，使用双重差分模型实证研究了低碳城市试点对碳排放的影响。研究发现，低碳城市试点政策显著降低了试点城市二氧化碳排放量。低碳城市主要通过加大环境污染治理力度、增加环境保护投资、增加碳汇、推动创新等实现碳减排。低碳城市的减碳效果存在区域以及经济发展水平异质性，相比中西部地区和经济发展水平较低的地区，东部地区以及经济发展水平较高的地区减碳效果更好。

【关键词】 低碳城市 碳排放 碳达峰 碳中和

【中图分类号】:F293 **【文献标识码】**:A **【文章编号】**:1009-2382(2022)07-0010-08

一、引言

中国力争 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和，是以习近平同志为核心的党中央统筹国内国际两个大局作出的重大战略决策，事关中华民族永续发展和构建人类命运共同体。然而，作为世界上最大的发展中国家以及最大的碳排放国家，中国仍处于城镇化和工业化深化发展阶段，能源消费将会持续增长。对政府来说，实现碳达峰碳中和目标，时间窗口偏紧而工作任务偏重。因此，立足国情，确定哪些方式可以实现碳减排是当前中国社会各界所面临的重大课题，事关新时期中国经济增长方式的成功转型，事关未来经济高质量发展的成效。

地方政府是链接企业和社会的重要桥梁，是推动经济社会发展的重要力量。在当前碳达峰碳中和目标约束下，地方政府可以通过加大对污染的处罚力度、推动经济结构调整等实现减碳目标。然而，已有关于如何实现碳达峰碳中和的文献主要聚焦于技术路线。例如，胡鞍钢(2021)指出，由于中国能源消费持续增加，降低二氧化碳排放的唯一途径是大幅度提高能源效率。言外之意，需要着重发展节能技术。王灿和张雅欣(2020)对此有不同意见，他们认为，实现碳达峰碳中和不仅需要发展高效循环利用技术，也需要大力采用零碳能源技术以及负排放技术等。

本文利用低碳城市试点政策，聚焦于地方政府，研究低碳城市建设对二氧化碳排放的影响及机制。本文的贡献主要体现在以下三个方面。第一，从研究视角看，相比聚焦于技术细节研究碳达峰碳中和实现路径的文献(余碧莹等，2021)，本文以地方政府为研究对象，重点研究地方政府在减碳中所能发挥的作用及机制。目前，有关如何降低二氧化碳排放的文献，很多都聚焦于风电、水电、光伏等新技术的发展和使用，忽略了地方政府这一重要环节，本文跳过具体的技术细节，以地方政府为研究对象，为研究碳达峰碳中和提供了新的视角。第二，从研究内容看，本文有关异质性的研究，为环境库兹涅茨曲线在中国的存在性提供了新的证据。目前，国内学者就中国是否存在环境库兹涅茨曲线存在较大争议。刘华军和裴延峰(2017)以雾霾为研究对象，发现中国不存在环境库兹涅茨曲线。王敏和黄滢(2015)以废水、二氧化硫、氮氧化物为研究对象，研究发现中国环境污染存在库兹涅茨曲

¹**作者简介**：王胜今，吉林大学哲学社会科学资深教授、博士生导师；朱润酥，吉林大学人口、资源与环境经济学专业博士生(长春 130000)。

基金项目：国家社会科学基金重大项目“21 世纪我国人口变动趋势与社会结构变动关系研究”(编号：09&ZD022)

线。本文以二氧化碳为研究对象，相比已有文献，本文的研究为环境兹涅茨曲线在中国的存在性，提供了来自碳排放的证据。第三，本文从环境规制、环境投资、碳汇、创新等多个角度对低碳城市的减碳机制进行了分析，对当前地方政府如何实现碳达峰碳中和目标具有重要的理论和现实参考价值。已有关于低碳城市的研究，重点关注低碳城市政策实施后的经济和社会效应，较少有文献系统梳理其作用机制。

本文余下部分安排如下：第二部分是文献综述，第三部分介绍低碳城市政策实施背景，第四部分是数据和实证研究模型，第五部分是基准回归结果以及稳健性检验，第六部分是机制分析和异质性分析，第七部分是研究结论以及政策建议。

二、文献综述

与本文有关的文献主要包括二氧化碳排放影响因素以及低碳城市政策评估两部分。

1. 二氧化碳排放影响因素

国家发改委 2021 年 9 月颁布的《完善能源消费强度和总量双控制度方案》明确指出，降低二氧化碳排放的方法主要包括降低能源消费总量以及能源消费强度。就降低能源消费总量而言，已有文献主要集中于讨论总量控制方法是否可行。西方发达国家主要通过碳排放交易体系和节能认证交易体系实现减排目标，并未直接提出能源消费总量控制的目标(邢璐和单葆国, 2012)。中国政府具有较强的调控能力，赫永达等(2021)认为能源消费总量控制是从源头落实环境治理的根本途径。就降低能源消费强度而言，已有文献从不同角度提出了不同的解决思路。林伯强等(2010)认为重点应该优化能源结构，实现从煤炭向可再生能源的转变。张贤等(2021)更强调技术创新，认为需要通过强化技术创新来支撑产业结构调整，进而实现能源结构优化以及碳强度下降。此外，随着中国碳排放市场体系的陆续建立，也有学者研究市场机制，例如碳排放权(陈志斌等, 2021)、碳税(尹伟华, 2021)等对二氧化碳排放的影响。

2. 低碳城市政策评估

低碳概念是在应对日益严重的全球气候变化、降低温室气体排放的背景下提出的(仇保兴, 2008)。很多国家为降低二氧化碳排放进行了大量尝试。早在 2003 年和 2007 年，英国政府和日本政府先后提出打造“低碳经济”和“低碳社会”。基于国外已有实践，Deakin 等(2012)以英国某一社区为例，探讨了大规模改造低碳社区的方式方法。Wolff(2014)和 Gehrsitz(2017)对欧盟地区实行的低排放区域政策进行了政策评估，发现政策实施后地区环境改善。近年来，随着碳达峰碳中和政策的提出，国内学者也开始对中国实施的低碳政策进行评估。从环境污染角度看，宋弘等(2019)、王华星和石大千(2019)研究发现，低碳政策显著提升了环境质量。从经济影响看，逯进等(2020)、徐佳和崔静波(2020)、余硕等(2020)、景国文(2020)等的研究表明，低碳城市促进了产业转型升级，提升了城市创新能力，提升了企业生产率，但是抑制了外商投资。

综上所述，国内外研究二氧化碳排放影响因素的文献，主要聚焦于碳排放总量和强度控制的各种技术细节，较少有文献研究地方政府对碳排放的影响及其作用机制。此外，对低碳城市的政策评估主要聚焦于环境污染以及经济结构调整，少有文献对碳排放进行直接评估。基于此，本文用低碳城市政策研究地方政府对二氧化碳排放的影响及其作用机制。虽然也有学者对低碳城市的减碳效应进行了评估，如张华(2020)采用连续性动态分布方法并结合地级市面板数据计算碳排放，然而这种方法的测量误差很可能与解释变量相关而造成估计偏误。本文使用的二氧化碳数据，采用了粒子群优化-反向传播(PSO-BP)算法，统一了 DMSP/OLS 和 NPP/VIIRS 卫星图像的尺度，采用这种方法可以使二氧化碳数据更加准确，提高回归结果的可靠性(Chen 等, 2020)。

三、政策背景

低碳城市(Low Carbon City)的理念来源于低碳经济(Low Carbon Economy)，最早于 2003 年在英国首先提出，此后日本于

2007 年也提出“低碳社会”的概念。低碳城市的主要目标是在发展城市经济的同时尽可能降低二氧化碳的排放。近年来，随着中国城镇化程度提高，城市二氧化碳排放占二氧化碳排放总量的比重不断提高。2010 年中国明确提出将低碳发展道路确定为经济社会发展的重大战略，走具有中国特色的低碳发展之路。国家发改委于 2010 年和 2012 年先后开展低碳省区和低碳城市试点。根据地方申报情况，统筹考虑各地方的工作基础和试点布局的代表性，第一批试点地区选择广东等 5 省以及天津等 8 市，共 82 个城市；第二批选择北京市等 3 省市以及石家庄等 26 个城市，共 33 个城市。鉴于第一批和第二批低碳城市在推动低碳发展方面取得了积极成效，国家发改委于 2017 年展开了第三批试点，选择内蒙古乌海市等 45 个城市为低碳试点城市。以上三批城市的选择充分考虑不同地区的资源禀赋、发展阶段、产业结构和工作基础，试点范围覆盖经济发达区、生态环境保护区、资源型地区 and 老工业基地等(庄贵阳，2020)。

低碳城市会从促进产业结构调整、加强环境规制、增加碳汇等方面降低二氧化碳排放。产业结构调整上，2010 年国家发改委《关于开展低碳省区和低碳城市试点工作的通知》明确提出，加快发展低碳建筑、低碳交通，培育壮大节能环保、新能源等战略性新兴产业。环境规制上，在碳排放总量控制下，低碳城市会制定减排目标，并将任务分配到所辖行政区，这会加强政府对重点企业的监管力度，降低二氧化碳排放。增加碳汇方面，低碳城市不仅重视城市绿肺建设，加大环境生态投资，且充分调动居民积极性，提倡低碳消费，推动个人和家庭践行低碳绿色生活方式和消费模式。国家发改委定期对低碳城市试点情况进行评估，督促低碳城市降低二氧化碳排放。总体来看，尽管中央并没有对入选低碳城市试点的地方政府给予政策或者财政支持，但低碳城市政策依旧可以取得较好效果。

四、数据来源与实证模型

1. 数据

本文采用 2003–2017 年地级市城市层面的数据研究低碳城市对碳达峰碳中和的影响。二氧化碳排放数据来源于 Chen 等(2020)。与基于地级市经济和社会发展指标计算碳排放不同，本文基于卫星灯光数据计算二氧化碳排放量，在计算过程中不仅采用粒子群优化-反向传播(PSO-BP)算法，统一 DMSP/OLS 和 NPP/VIIRS 卫星图像的尺度，且计算了陆地植被的碳固存值，结果更加准确。本文选择人均 GDP、人均 GDP 平方、城镇化率、人口密度、GDP 增长率等作为控制变量。数据来源于《中国城市统计年鉴》。在机制分析中，本文也使用了科学技术支出、建成区绿化覆盖面积、环境投资、污染处罚等数据。其中，科学技术支出以及建成区绿化覆盖面积来源于《中国城市统计年鉴》，环境投资、污染处罚数据由于缺乏地级市层面的数据，本文参考范子英和赵仁杰(2019)，用各省环境投资、污染处罚数据乘以各地级市第二产业增加值占全省比值进行估算。

2. 实证模型

本文研究低碳城市政策的碳减排效应。低碳城市分批试点的特征使得本文可以采用 DID 模型解决政策评估中面临的内生性问题。由于二氧化碳数据仅截至 2017 年，为确保试点城市在政策冲击后仍旧有样本，本文仅用第一批和第二批政策试点作为本文的政策冲击。实证模型如下：

$$C_{it} = \alpha + \beta Lowc_{it} + \gamma X_{it} + \mu_i + \nu_t + \epsilon_{it}$$

其中， i 表示城市， t 表示时间。 $Lowc$ 表示是否受到政策冲击虚拟变量，如果 i 城市在 t 年被纳入低碳城市试点， $Lowc$ 为 1，否则为 0。 C_{it} 是 i 城市 t 年二氧化碳排放量，为确保结果稳健，本文以二氧化碳排放量的对数作为基准回归模型中的研究对象，并以人均二氧化碳排放量进行稳健性检验。 X_{it} 是一系列控制变量， μ_i 是城市固定效应， ν_t 是时间固定效应， ϵ_{it} 是残差。本文重点关注 $Lowc$ 的系数 β ，由于低碳城市政策实施的主要目的在于降低二氧化碳排放量，因此本文预计 β 将显著为负。

各变量的描述性统计见表 1 所示。

五、实证结果与稳健性检验

1. 实证结果

本文使用双重差分模型实证检验低碳城市政策对二氧化碳排放量的影响，基准回归结果如表 2 所示。(1) 列和 (2) 列 Lowc 系数都在 1% 的水平上显著，表明低碳城市试点确实有助于实现碳达峰碳中和目标，试点城市二氧化碳排放量相比非试点城市显著降低。从系数大小来看，(1) 列 Lowc 的系数为-0.0419, 表明相比非试点城市，试点城市二氧化碳排放量降低大约 4.19%。从人均二氧化碳排放量来看，(2) 列 Lowc 的系数为-0.8339, 表明相比非试点城市，试点城市人均二氧化碳排放量降低大约 0.8339 吨。

表 1 变量的描述性统计

变量	变量定义	样本量	均值	方差	最小值	最大值
lnCO ₂	二氧化碳排放量对数(万吨)	4264	7.493	0.815	5.030	10.046
CO ₂ per	人均二氧化碳排放量(吨/人)	4261	6.746	6.325	0.153	76.320
Lowc	低碳城市试点	4264	0.161	0.368	0.000	1.000
Gdpper	人均 GDP(万元/人)	3968	3.264	2.877	0.010	46.775
Gdpper2	人均 GDP 平方项	3968	18.929	52.551	0.000	2187.891
Urban	城镇化率(%)	3934	0.720	0.348	0.077	3.594
Popden	人口密度(人/平方公里)	3690	421.854	321.393	4.700	2648.110
Gdpgrowth	GDP 增长率(%)	3962	12.072	4.178	-19.380	37.690

表 2 基准回归结果

	(1) LnCO ₂	(2) CO ₂ per
Lowc	-0.0419***	-0.8339***
	(0.0151)	(0.3001)
Gdpper	0.0192**	1.1571***
	(0.0097)	(0.3466)
Gdpper2	-0.0004**	-0.0169***
	(0.0001)	(0.0054)
Urban	0.1884***	-0.3824

	(0.0512)	(1.4435)
Popden	-0.0001**	-0.0024*
	(0.0000)	(0.0014)
Gdpgrowth	0.0005	-0.1162***
	(0.0011)	(0.0336)
城市固定效应	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes
常数项	7.2985***	6.0899***
	(0.0550)	(1.4596)
观测值	3633	3633
R ²	0.9893	0.8966

注：***、**、*分别表示在 1%、5%和 10%的统计水平上显著；括号内为聚类标准误。下同。

从控制变量看，人均 GDP 的系数为正，人均 GDP 的平方项系数为负，说明二氧化碳排放量与经济发展水平呈先上升后下降的倒 U 型关系，验证了碳排放的库兹涅茨假说。人口密度系数为负，表明环境承载能力越强，碳排放水平越低。城镇化率在 (1) 列中显著为正，在 (2) 列中为负但不显著，部分说明城镇化率对二氧化碳排放总量有提升作用。GDP 增长率在 (1) 列中不显著，在 (2) 列中为显著为负，部分说明 GDP 增长率对人均二氧化碳排放水平具有抑制作用。

2. 稳健性检验

(1) 平行趋势检验。

使用双重差分方法的前提是，处理组和控制组在政策冲击前要保持一致，不能有显著差异。本文采用事件研究法，通过构造如下模型进行检验：

$$C_{it} = \alpha + \sum_{k=-5}^{k=5} \beta_k D_{ik} + \gamma X_{it} + \epsilon_{it}$$

其中， D_{ik} 是一系列虚拟变量。 k 表示低碳城市试点开始实施的第 k 年， $k=1$ 表示城市 i 实施低碳城市的第 1 年， $k=-1$ 表示开始低碳试点之前的第 1 年。本文将政策冲击前后 5 期及 5 期以上统一归类为-5 期或者+5 期。 X_{it} 是与基准模型中相同的控制变量。本文重点关注 D_{ik} 前面的系数 β_k ， β_k 表示低碳城市试点在政策开始第 k 年时，实验组与控制组之间的空气污染差异。如果 $k<0$ 期间，有 β_k 不显著异于 0,则满足平行趋势假设，反之，如果在 $k<0$ 期间， β_k 显著异于 0,则证明实验组与控制组存在显著差异。

平行趋势检验的实证回归结果如图 1 所示。在政策冲击前 ($k<0$)， β_k 系数在 0 附近，控制组和实验组没有显著差异。政策冲

击当年 ($k=0$), 系数开始下降。政策冲击后 ($k>0$), 系数显著异于 0。总体来看, 低碳城市政策冲击前, 控制组和处理组没有显著差异, 满足平行趋势检验; 政策冲击后, 减碳效应的长期效果一直存在。

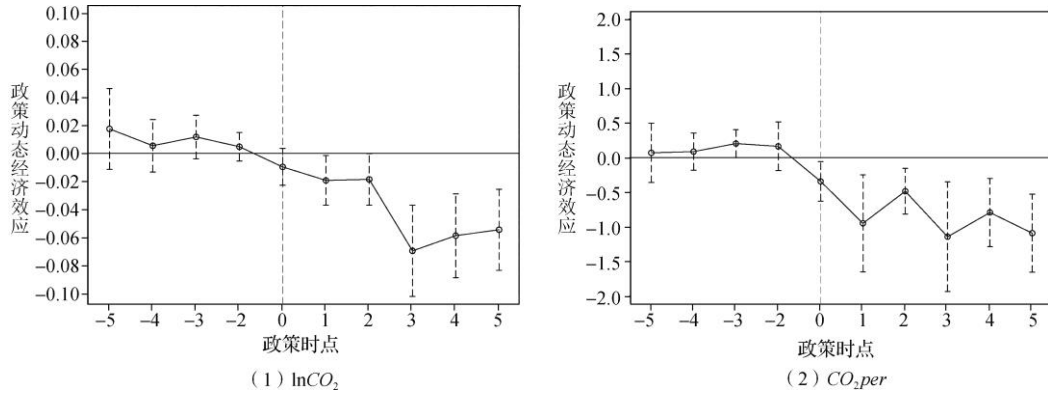


图 1 平行趋势图

注：以-1 期为基期，置信区间为 90%, 虚线表示政策冲击当年。

(2) 加入控制变量。

作为准自然实验, 双重差分法最理想的情况是, 试点城市是随机的。然而在现实中, 相关政策的选择很难随机。在低碳城市选择上, 虽然国家发改委在试点城市选择上充分考虑不同地区的资源禀赋、发展阶段、产业结构和工作基础, 试点范围覆盖经济发达区、生态环境保护区、资源型地区 and 老工业基地等, 在一定程度上缓解了对实验组的随机假设要求, 但是试点地区名单与城市的地理位置、现有的经济社会发展状况、开放程度等依旧可能密切相关, 而这些原本存在的城市之间的差异, 随着时间的趋势, 对于城市的环境可能具有不同的影响, 从而造成估计的偏差。为此, 本文加入是否为省会城市、是否为特区城市等变量与时间线性趋势的交互项, 具体而言, 采用以下方程进行回归:

$$C_{it} = \alpha + \beta Lowc_{it} + \gamma X_{it} + Z_i Trend_t + \epsilon_{it}$$

其中, Z_i 是城市特征虚拟变量, 包括是否为省会城市、是否为特区城市等。 $Trend_t$ 是时间虚拟变量。 $Z_i Trend_t$ 控制了城市之间原来固有的特征差异对于环境污染的影响, 在一定程度上缓解了由于实验组与控制组选择的不随机造成的估计偏差。回归结果如表 3 中 (1) 和 (2) 列所示。系数依旧显著为负, 不改变本文的基本结论。

(3) 合成控制法。

双重差分模型要求处理效应对每个观测值都保持一样 (Cao 和 Chen, 2022)。而本文选择的处理组以大城市居多, 这样处理组和对照组有可能对同一政策冲击产生不同的反应, 进而违背相同处理效应假说。为了解决此问题, 本文参考 Liu 等 (2021), 采用数据推动的合成控制法, 为处理组合成控制组来进行回归, 结果见图 2。政策冲击前, 处理组和控制组趋势相同, 处理效应在 0 附近; 政策冲击后, 处理效应开始下降。采用合成控制法不改变本文的基本结论。

(4) 其他稳健性检验。

第一，改变聚类方式。聚类方式不同，可能会对本文的结果产生影响。在基准回归结果中，本文是在地级市层面聚类，在稳健性检验环节，本文尝试在更高层级也即省层面聚类。变更聚类方式后的回归结果见表3中(3)和(4)列，系数依旧为负，不改变本文的基本结论。第二，控制政策预期效应。低碳城市建设的提出经历了漫长的准备过程，不同地区在政策出台前可能已开始准备，遗漏政策预期可能对结果的估计造成偏差。为此，本文构造政策冲击前一年虚拟变量(Before)，将其作为控制变量加入回归模型，控制政策预期效应后的回归结果见表3中(5)和(6)列，系数依旧显著为负，表明本文基本结论的稳健性。

六、机制分析和异质性分析

1. 机制分析

(1) 加强环境规制。

改革开放初期，在生存压力大于环保压力的情况下，为发展经济，中央政府制度设计更关注对官员发展经济的考核，地方官员实行以牺牲环境发展经济的策略。随着污染问题日益加重，政府开始加强环境管制，以求在环境保护和经济发展中取得平衡。已有研究普遍认为，环境管制对环境污染有重要影响(Hashmi 等，2019; Zhang 等，2020)。《关于开展低碳省区和低碳城市试点工作的通知》明确指出，国家发改委为杜绝地方政府概念炒作和搞形象工程，会定期对低碳城市试点情况进行评估，督促低碳城市降低二氧化碳排放。在评估压力下，地方政府会通过加强企业环境管制的方式实现减排目标。用地级市环境案例处罚数量(lnpenal)对政策实施虚拟变量(Lowc)进行回归，回归结果如表4中(1)列所示，Lowc在5%的水平上显著，表明低碳城市确实提高了辖区内企业的环境管制程度。

表3 稳健性检验

	添加控制变量		改变聚类方式		添加预期因素	
	(1) lnCO ₂	(2) CO ₂ per	(3) lnCO ₂	(4) CO ₂ per	(5) lnCO ₂	(6) CO ₂ per
Lowc	-0.0374**	-0.5766**	-0.0419	-0.8339*	-0.0438***	-0.8532***
	(0.0152)	(0.2654)	(0.0351)	(0.4604)	(0.0166)	(0.3201)
Before					-0.0118	-0.1190
					(0.0121)	(0.1778)
常数项	7.2771***	5.8187***	7.2985***	6.0899***	7.2996***	6.1009***
	(0.0504)	(1.5191)	(0.0739)	(1.2639)	(0.0549)	(1.4587)
城市固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
观测值	3633	3633	3633	3633	3633	3633
R ²	0.9894	0.8997	0.9893	0.8966	0.9893	0.8966

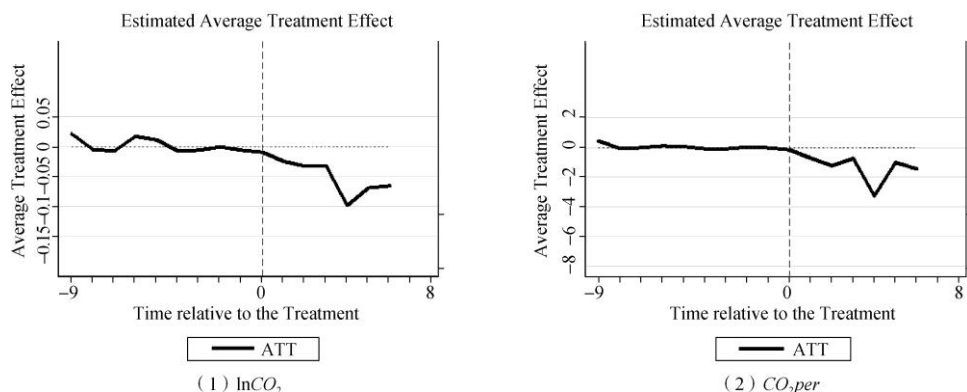


图 2 合成控制法稳健性检验

(2) 加大环境投资，增加碳汇。

每一级地方政府都拥有相应的一级财政，除特定支出用途外，地方政府对辖区内的投资有较大的自由裁量权。在 GDP 晋升锦标赛下，地方政府会更注重可视化的基础设施投资，忽略环境污染治理等对地方政府来说非刚性的支出。但是，低碳城市政策会改变地方政府的优先策略。在低碳目标下，尤其是在国家发改委的考核下，地方政府会加大对环境领域的投资，包括环境污染治理费用和建设“城市绿肺”等绿化基础设施。据此，本文推测，地方政府会通过加大环境投资，增加碳汇的方式实现减碳目标。为对此进行检验，本文首先用各省环境污染治理投资乘以各地级市规模以上工业总产值占全省规模以上工业总产值的比值，构造地级市环境污染治理投资指标。其次，用建成区绿化覆盖面积来衡量碳汇，逻辑是绿化面积越多，植物光合作用吸收的二氧化碳越多。将环境治理投资 ($\ln envinv$) 和建成区绿地面积 ($\ln greensqu$) 对政策实施虚拟变量 ($Lowc$) 回归后的实证结果如表 4 中 (2) 和 (3) 列所示， $Lowc$ 分别在 10% 和 5% 的水平上显著，说明低碳城市政策加大了环境领域投资，城市绿化得到了显著改善。

(3) 加强创新投资。

为促进低碳产业发展，低碳城市可以通过加大科技领域投入，加快技术改造以及产业结构内部优化调整，促进城市整体的产业结构调整，减少污染排放。为对此进行检验，本文用城市科技支出衡量城市的创新投入水平。鉴于科技支出的数据只在 2010 年及以后才有，在用科技支出对政策实施虚拟变量 ($Lowc$) 进行回归时，只考虑了第二批试点城市样本，故样本量较少。用城市科技支出 ($\ln kjzc$) 对政策实施变量回归后的实证结果见表 4 中 (4) 列， $Lowc$ 在 10% 的水平上显著，表明低碳城市确实通过加大科技领域投入促进创新降低了二氧化碳排放。

表 4 机制分析

	(1) $\ln penal$	(2) $\ln envinv$	(3) $\ln greensqu$	(4) $\ln kjzc$
$Lowc$	0.1592**	0.0930*	16.0202**	0.0967*
	(0.0746)	(0.0520)	(6.3790)	(0.0547)
控制变量	是	是	是	是
常数项	5.0100***	20.1060***	13.6672	11.6015***
	(0.2733)	(0.1554)	(15.4337)	(0.2628)

城市固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
观测值	3624	3627	3616	1247
R ²	0.7653	0.8771	0.6186	0.9530

2. 异质性分析

地理位置不同，低碳城市的减排效果也可能存在差异。中国幅员辽阔，地区间差异较大。总体来看，东部沿海地区经济较为发达，中西部地区经济发展较为落后。地区间的发展差异，使得高能耗、高二氧化碳排放的企业可以在地区之间进行产能转移。东部地区由于经济较为发达，在低碳城市试点过程中，地方政府对高能耗、高二氧化碳排放的企业依赖程度较低，倾向于加大对这些企业的处罚。相反，中西部地区由于基础较差，倾向于承接东部地区转移的高能耗、高二氧化碳排放的企业。中西部地区地方政府更低的环境管制，会导致低碳城市的实施效果较差。为了检验低碳城市的效果是否存在地区异质性，本文构造东部地区虚拟变量 (Region=1 表示是东部地区城市，Region=0 表示是中西部地区城市)，将 Region 与政策实施虚拟变量 (Lowc) 交互后对二氧化碳排放进行回归，回归结果如表 5 中 (1) 和 (2) 列所示，交互项系数分别在 10% 和 1% 的水平上显著，表明东部地区二氧化碳下降幅度高于中西部地区。

表 5 异质性分析

	(1) lnCO ₂	(2) CO ₂ per	(3) lnCO ₂	(4) CO ₂ per
Lowc	-0.0238	-0.3249	0.0013	-0.2625
	(0.0180)	(0.3036)	(0.0210)	(0.2658)
Lowc×Region	-0.0490*	-1.3813***		
	(0.0263)	(0.3539)		
Hgdp			0.0054	-0.0753
			(0.0098)	(0.1970)
Lowc×Hgdp			-0.0562**	-0.7501*
			(0.0217)	(0.4315)
常数项	7.3035***	6.2296***	7.2973***	6.1366***
	(0.0542)	(1.4569)	(0.0539)	(1.4314)
城市固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
观测值	3633	3633	3633	3633

R^2	0.9894	0.8975	0.9894	0.8969
-------	--------	--------	--------	--------

经济发展水平不同,低碳城市的减排效果也可能会存在差异。不仅东中西部三大地区的城市间经济发展水平差异较大,就是同一省内部由于历史条件不同,城市间经济发展水平也存在较大差异。对发展水平较低的城市来说,往往会优先选择发展经济。相反,对发展水平较高的城市来说,往往会优先选择环境保护。为检验低碳城市政策的实施效果是否存在经济发展水平异质性,本文依据人均 GDP 是否超过中位数,将样本城市分为高经济发展水平组 (Hgd_p=1) 和低经济发展水平组 (Hgd_p=0),并将城市经济发展水平虚拟变量与政策实施虚拟变量交互 (Lowc×Hgd_p)。回归结果显示,交互项系数分别在 5% 和 10% 的水平上显著为负,表明低碳城市政策实施确实存在经济发展水平异质性,经济发展水平越高的城市,减排效果越好。

七、结论以及政策建议

本文利用中国 2010 年和 2013 年实施的低碳城市试点政策这一准自然实验,采用双重差分模型,研究了低碳城市试点政策对二氧化碳排放的影响及其作用机制。研究发现,低碳城市政策显著降低了二氧化碳排放。原因在于,低碳城市充分调动了地方政府降低二氧化碳排放的积极性,加大了环境污染处罚力度,增加了环境保护投资,增加了碳汇,加大了创新投入。进一步研究发现,低碳城市的减碳效应存在区域异质性,低碳城市政策的实施效果在东部地区以及经济发展水平较高的地区效果更好。本文的研究对中国顺利实现碳达峰与碳中和,实现经济由高速增长阶段向高质量发展阶段转型具有丰富的政策启示。基于已有研究结论,本文提出以下政策建议。

第一,进一步扩大低碳城市试点范围,充分发挥低碳城市的减碳作用。本文的研究表明,低碳城市通过调动地方政府节能减排的积极性,能够显著降低二氧化碳排放。这意味着,政策制定者可以通过总结试点经验,提炼经典案例等方式,进一步扩大低碳城市范围。

第二,改革官员评价体系,倒逼官员加强环境规制力度。本文的机制分析表明,地方政府可以通过加大对企业的环境处罚力度降低二氧化碳排放。因此,可以进一步完善地方政府官员考核机制,在官员考核评价指标体系中加大环境保护的权重。通过官员评价体系的改革,倒逼地方政府加大环境规制力度,加强环境保护。

第三,加大环境保护投资,加强创新,推动产业转型升级。本文的机制分析表明,低碳城市可以通过加大环境保护投资、促进创新来降低二氧化碳排放。因此,应进一步加大环境保护投资力度,加强低碳能源技术投资,推动资源循环利用、高能效、负排放、零碳能源等颠覆性创新技术的发展。持续加强创新,推动产业结构优化调整,淘汰高污染高能耗企业,降低能源消耗强度。

第四,针对不同地区以及各地经济发展水平,出台针对性的减排目标及方案,禁止“一刀切”。本文的异质性分析表明,低碳城市试点政策实施后,东部地区的减排效果比中西部地区好;经济发展水平高的城市减排效果比经济发展水平低的城市好。因此,应该因地、因时施策,对东部地区以及经济发展水平较高的城市设定较高目标。动态设置碳达峰碳中和目标实现时间,允许发达城市可以率先实现碳达峰碳中和目标,落后地区在经济发展水平提高后再实现碳达峰碳中和目标。避免为实现碳达峰、碳中和目标,对中西部落后地区经济发展造成负面影响。

参考文献:

- [1]. Chen, J., M. Gao, and S. Cheng, et al. County-Level CO₂ Emissions and Sequestration in China during 1997–2017. *Scientific Data*, 2020, 7(1):1–12.
- [2]. Gehrsitz, M. The Effect of Low Emission Zones on Air Pollution and Infant Health. *Journal of Environmental*

Economics and Management, 2017, 83:121-144.

[3]. Liu, L., Y. Wang, and Y. Xu. A Practical Guide to Counterfactual Estimators for Causal Inference with Time-Series Cross-Sectional Data. Working Paper, 2021.

[4]. 范子英、赵仁杰：《法治强化能够促进污染治理吗？——来自环保法庭设立的证据》，《经济研究》2019年第3期。

[5]. 胡鞍钢：《中国实现2030年前碳达峰目标及主要途径》，《北京工业大学学报(社会科学版)》2021年第3期。

[6]. 赫永达、文红、孙传旺：《“十四五”期间我国碳排放总量及其结构预测——基于混频数据ADL-MIDAS模型》，《经济问题》2021年第4期。

[7]. 刘华军、裴延峰：《我国雾霾污染的环境库兹涅茨曲线检验》，《统计研究》2017年第3期。

[8]. 逯进、王晓飞、刘璐：《低碳城市政策的产业结构升级效应——基于低碳城市试点的准自然实验》，《西安交通大学学报(社会科学版)》2020年第2期。

[9]. 余硕、王巧、张阿城：《技术创新、产业结构与城市绿色全要素生产率——基于国家低碳城市试点的影响渠道检验》，《经济与管理研究》2020年第8期。

[10]. 宋弘、孙雅洁、陈登科：《政府空气污染治理效应评估——来自中国“低碳城市”建设的经验研究》，《管理世界》2019年第6期。

[11]. 王灿、张雅欣：《碳中和愿景的实现路径与政策体系》，《中国环境管理》2020年第6期。

[12]. 王敏、黄滢：《中国的环境污染与经济增长》，《经济学(季刊)》2015年第2期。

[13]. 邢璐、单葆国：《我国能源消费总量控制的国际经验借鉴与启示》，《中国能源》2012年第9期。

[14]. 徐佳、崔静波：《低碳城市和企业绿色技术创新》，《中国工业经济》2020年第12期。

[15]. 张华：《低碳城市试点政策能够降低碳排放吗？——来自准自然实验的证据》，《经济管理》2020年第6期。

[16]. 庄贵阳：《中国低碳城市试点的政策设计逻辑》，《中国人口·资源与环境》2020年第3期。