

清洁供暖对大气污染的影响——来自中国北方地区的证据

郭晓鹏¹, 李雄英¹, 周君佐²

¹广东财经大学统计与数据科学学院, 广东 广州

²广东财经大学教务处, 广东 广州

收稿日期: 2025年8月6日; 录用日期: 2025年8月14日; 发布日期: 2025年11月17日

摘要

清洁供暖有望在减少大气污染中发挥重要作用。然而, 目前关于清洁供暖与大气污染的实证研究较为欠缺。鉴于此, 本文以《北方地区冬季清洁供暖计划》(NCH)的实施为例, 利用中国2012~2021年282个地级市的数据, 实证探讨清洁供暖与大气污染的关系。实证表明: NCH可以显著减少SO₂污染约20.0%, 而可以减少PM_{2.5}约35.5%; 该结论经平行趋势检验和安慰剂检验后依旧显著; 异质性分析表明NCH政策的实施效果在东西部地区更为显著。本文的研究可以揭示清洁供暖与大气污染的关系, 并为政府制定更好地清洁供暖政策提供科学依据。

关键词

清洁供暖, 大气污染, 双重差分法, 双向固定效应模型

The Impact of Clean Heating on Air Pollution—Evidence from Northern China

Xiaopeng Guo¹, Xiongying Li¹, Junzuo Zhou²

¹School of Statistics and Data Science, Guangdong University of Finance and Economics, Guangzhou Guangdong

²Academic Affairs Office, Guangdong University of Finance and Economics, Guangzhou Guangdong

Received: August 6, 2025; accepted: August 14, 2025; published: November 17, 2025

Abstract

Clean heating is expected to play an important role in reducing air pollution. However, there is currently a lack of empirical research on the relationship between clean heating and air pollution.

文章引用: 郭晓鹏, 李雄英, 周君佐. 清洁供暖对大气污染的影响——来自中国北方地区的证据[J]. 低碳经济, 2025, 14(4): 367-375. DOI: 10.12677/jlce.2025.144038

In view of this, this article takes the implementation of the Plan for Cleaner Winter Heating in Northern Region (NCH) as an example and uses data from 282 prefecture-level cities in China from 2012 to 2021 to empirically explore the relationship between clean heating and air pollution. Empirical evidence shows that NCH can significantly reduce SO₂ pollution by about 20.0% and PM_{2.5} pollution by about 35.5%, which remains significant after parallel trend testing and placebo testing; Heterogeneity analysis shows that the implementation effect of NCH policy is more significant in the eastern and western regions. This study can reveal the relationship between clean heating and air pollution, and provide a scientific basis for the government to formulate better clean heating policies.

Keywords

Clean Heating, Air Pollution, Difference-In-Differences, Two-Way Fixed Effects Model

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在当今世界，大气污染已成为全球关注的焦点，不仅关乎环境保护和气候变化的应对，也是推动经济可持续发展的关键因素。大气污染像 SO₂ 的排放可以与水结合，形成酸雨，容易诱发癌症，同时还会对农作物产生负面影响。而烟 PM_{2.5} 的排放会被人体吸入，是呼吸疾病的诱发因素。因此减少 SO₂ 和 PM_{2.5} 等污染物的排放具有重要意义。

由于中国北方地区冬季较为寒冷，因此面临着大气污染严重，对煤炭资源需求过大等问题，大大影响了空气质量。幸运的是，中国政府于 2017 年颁布了《北方地区冬季清洁供暖计划》(NCH)，该政策旨在减少大气污染。一方面，NCH 政策通过推动集中供暖市场的发展，使得太阳能，风能，地热能等清洁能源取代散烧煤进行供暖，从而减少污染物排放；另一方面 NCH 通过加强清洁供暖科技创新，推动清洁装备升级，着力提高清洁供暖装备质量，从而减少大气污染。NCH 作为重大民生工程和政治任务，是关系到中国北方地区的人民群众能否温暖过冬，雾霾天气能否减少的重要措施，未来发展能否实现绿色、低碳、可持续的重要举措。

鉴于以上分析，对于 NCH 能否减少大气污染的研究具有较大的现实意义。本研究针对现有文献，主要有以下两方面贡献：

第一，现有研究主要搜集了 2013~2020 的数据进行分析，本研究在现有研究基础上，搜集了 2012~2021 年数据，从而拓宽了该政策的研究范围；第二，本研究采用双重差分模型(DID)，双向固定效应模型，平行趋势检验等方法，来验证二者的关系。

2. 文献综述与理论假说

近年来学者们对 NCH 政策的研究较为匮乏。已有文献论证了清洁供暖拥有较好的环保性和收益性。Ma 等验证清洁供暖通过能源清洁化对碳减排具有积极影响[1]；Xue 等[2]和 Han 等[3]从实证出发得出 NCH 政策有利于减少 SO₂ 等污染物排放。除此之外，Feng 论证得出 NCH 政策能够带来健康经济效益约为 109.85 亿元[4]；Zhang 等基于成本分析的方法，验证了 NCH 政策具有显着的区域健康效益溢出效应[5]；Yuan 等基于多属性决策，论证了 NCH 政策能够提高能源 - 环境 - 经济综合效益[6]。综上所述，已有文献从健康效应，成本分析的角度探讨了 NCH 政策实施效果。具体而言，NCH 政策在减少环境污染，

降低能源消耗和提高经济效益具有重要的意义。然而,虽然上述研究表明 NCH 政策可以减少像 SO_2 和 CO_2 等污染气体的排放,但针对于大气污染的主要源(SO_2 和 $\text{PM}_{2.5}$)的系统性研究较为匮乏。

另一方面,由于清洁供暖的发展目前不够成熟,因此有学者研究结论得出清洁供暖会带来更高的人力以及资本投入。首先, Li 等提出由于农村居民收入较低,对清洁供暖难以负担得起[7]。Wang 和 Xie 在此基础上论证了 NCH 政策得到落实需要提供更多的资金支持[8]。其次,胡宇鹏的研究基于中国清洁供暖政策对能源转型研究,指出其依然亟待成熟[9]。同时郭佳钰指出采暖成本提高以及壁挂炉维修等问题仍然是现阶段取暖面临的重要问题[10]。Zhang 等研究发现由于清洁供暖技术尚不成熟,像氢能以及地热能等清洁供暖材料需要更高的成本投入[11];最后, Bai 等基于 NCH 政策对农村居民调查,指出公众对融资规模较大的传统能源存在“选择偏差”,阻碍了 NCH 政策进一步落实[12]。Li 和 Lin 进一步指明市场在清洁供暖融资具有重要作用,这种偏差是由于清洁供暖市场尚未成熟,因此 NCH 政策需要更高的成本投入和投资激励提高清洁供暖市场规模[13]。上述研究更多侧重于对农村的调查,对不同经济发展区域政策效果进行差异化实证分析较为欠缺。中国的东中西地区在经济发展水平以及产业结构方面存在较大的差异,很大程度上会影响政策的实施。因此,本研究提出假说 1:

H1: 清洁供暖在中国东中西不同地区的影响存在异质性。

3. 模型设定与变量选取

(一) 研究方法

1、基准回归模型

双重差分法(DID)具有综合考虑政策的试点城市以及实施时间的优点。因此,本研究采用该方法,综合双向固定效应模型来进行 NCH 政策对大气污染影响的计量经济模型构建:

$$\text{pollution}_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{NCH}_{it} + \alpha_2 \text{GI}_{it} + \alpha_3 \ln \text{UIS}_{it} + \alpha_4 \ln \text{TTS}_{it} \\ + \alpha_5 \ln \text{PGDP}_{it} + \alpha_6 \ln \text{PD}_{it} + \nu_i + \varpi_t + \pi_{it}$$

在该模型中, i 代表地级市, t 代表时间。pollution 代表大气污染, NCH 代表北方地区冬季清洁供暖计划, NCH 为 1 代表表示 i 地级市 t 年份是该政策的试验区, 为 0 则反之。GI 表示政府干预, $\ln \text{UIS}$ 表示产业结构升级, $\ln \text{TTS}$ 表示交通运输水平, $\ln \text{PGDP}$ 表示经济发展水平, $\ln \text{PD}$ 表示人口密度。 ν_i 表示地级市固定效应, ϖ_t 表示年份固定效应, π_{it} 代表随机误差, α_0 表示截距。

2、平行趋势检验模型

平行趋势检验是 DID 假设是否成立的前提,其基本原理是将数据划分为干预前的时期和干预后的时期,进行统计检验以确定 NCH 干预前实验组和控制组是否具有相同的变化趋势。本研究构建如下的模型:

$$\text{pollution}_{it} = \delta_0 + \sum_{t=2012}^{2021} \delta_t \times \text{post}_t \times \text{treat}_i + \delta_1 \text{GI}_{it} + \delta_2 \ln \text{UIS}_{it} + \delta_3 \ln \text{TTS}_{it} \\ + \delta_4 \ln \text{PGDP}_{it} + \delta_5 \ln \text{PD}_{it} + \tau_i + \psi_t + \zeta_{it}$$

其中, post_t 表示是否时间超过 2017 的虚拟变量, treat_i 表示是否为 NCH 试验城市的虚拟变量。其它变量的含义与式(1)相同。

(二) 变量和数据的选取

1、被解释变量

本研究用 SO_2 和 $\text{PM}_{2.5}$ 两个指标衡量大气污染,部分缺失值用线性插值补齐,同时为消除异方差影响,对数据进行了对数处理。数据来源于中国城市统计年鉴。

2、解释变量

本研究以 NCH 政策为解释变量。NCH 政策试点主要包括中国北方地区(河北、山西、陕西、河南、山

东、黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、新疆、青海、甘肃、宁夏等 13 个省份和自治区的所有地级市以及北京，天津两个直辖市)。是否为 NCH 政策试点城市用变量 *treat* 表示，若是则将 *treat* 赋值为 1，否则为 0；是否为 2017 年之后用变量 *post* 表示，若是则将 *post* 赋值为 1，否则为 0；*treat* 与 *post* 乘积即为 NCH 政策的值。

3、控制变量

为了更科学地评估 NCH 政策对大气污染的影响，我们综合考虑了五个控制变量：1) Zhao 等(2022)的研究涉及地方政府如何通过环境法规激励企业和家庭减少大气污染，因此我们将政府干预纳入控制变量，以政府财政支出与 GDP 的比值衡量[14]；2) Muhammad 等(2022)论证了第三产业占比较高的国家在能源消耗相关的大气污染更为严重，我们用第三产业增加值占 GDP 比例来衡量[15]；3) 交通运输对空气污染有明显影响，Zhou 等(2013)的研究指出人均交通拥有量增加会导致汽油和电力等能源消耗增加，从而加大污染物排放，我们用人均公共汽车拥有量来衡量交通运输水平[16]；4) Lin 和 Zhou (2022)采用 Shepherd 距离函数和熵权法验证出空气污染与经济发展存在较大联系，我们用人均 GDP(PGDP)衡量作为其衡量变量[17]；5) 人口密度高往往会产生集聚效应，会产生更多环境污染，我们用城市年末总人口与城市面积的比值表示人口密度[18]。数据均源于中国城市统计年鉴，部分空值用线性插值补齐。为了消除异方差的影响，我们对部分数据进行了对数处理。

(三) 变量的描述性统计

数据包括 2012~2021 年中国 282 个地级市，其中 2017 为政策实施年。变量的描述性统计如表 1 所示。NCH 政策的均值为 0.241，表示有 24.1%的数据是实验组。

Table 1. Descriptive statistical results of variables
表 1. 变量的描述性统计结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
变量	N	mean	sd	min	max
lnSO ₂	2820	0.423	1.307	-8.517	3.931
lnPM2.5	2820	0.254	1.254	-5.745	6.248
NCH	2820	0.241	0.428	0	1
GI	2820	0.206	0.103	0.0439	0.916
lnUIS	2820	3.740	0.234	2.440	4.429
lnTTS	2820	6.635	1.120	2.996	10.56
lnGDP	2820	10.79	0.555	9.007	12.46
lnPD	2820	5.739	0.978	1.738	9.087

4. 参数估计与模型检验

(一) 参数估计

本研究采取双向固定效应模型来研究 NCH 政策对大气污染的影响。表 2 为 NCH 政策对大气污染的影响，NCH 约可以减少试点地区 SO₂ 约 20%，减少 PM2.5 约 35.5%。

清洁能源相比传统燃煤具有更环保的功能。NCH 政策通过鼓励资本多种模式参与集中供暖设施的建设和运营，推动清洁燃料的推广并限制传统散烧煤的使用，从而有效地减少集中供暖环境污染[19]。同时，清洁生产是减少大气污染的重要途径。随着 NCH 政策的出台，政府鼓励企业清洁化生产，提高清洁技术水平，安装高效能源供应设施，促进经济增长的同时减少了环境污染，有效地减少了全社会的大气污染[20]。

同期政策如新能源示范城市政策，已有研究论证了其对空气污染有显著的降低作用[21]。鉴于此，本

文排除该政策影响后进一步回归。如表 2 的(3)、(4)列所示，剔除了新能源示范城市政策后，NCH 政策对 SO₂ 和 PM2.5 的影响依旧显著为负，由此验证了基准结论的可靠性。

Table 2. Benchmark regression results

表 2. 基准回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
变量	lnSO ₂	lnPM2.5	lnSO ₂	lnPM2.5
NCH	-0.200*** (-5.194)	-0.355*** (-8.014)	-0.163*** (-3.691)	-0.349*** (-7.002)
GI	0.045 (0.109)	-1.054** (-2.404)	0.336 (0.711)	-1.034** (-2.101)
lnUIS	-0.092 (-0.810)	-0.338** (-2.450)	-0.121 (-0.939)	-0.260* (-1.674)
lnTTS	0.048 (1.184)	0.032 (0.757)	0.031 (0.670)	-0.003 (-0.058)
lnPGDP	-0.127 (-1.584)	-0.352*** (-3.569)	-0.011 (-0.116)	-0.293*** (-2.698)
lnPD	-0.204 (-1.301)	-0.336** (-2.082)	-0.054 (-0.285)	-0.359* (-1.936)
常数项	3.031** (1.994)	7.332*** (3.938)	1.066 (0.602)	6.737*** (3.210)
城市固定效应	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
观测值	2820	2820	2348	2348
R-squared	0.884	0.842	0.885	0.853

注：***、**、*分别表示 1%、5%和 10%水平的统计显著性。

(二) 模型检验

1、平行趋势检验及动态效果检验

图 1 和图 2 展示了公式(2)对应的平行趋势。为了排除可能存在的多重共线性的影响，我们将基准年(2016 年)删除。从中我们可以发现，政策实施前 NCH 的对大气污染的估计系数在 90%置信区间上包括 0，以此表明在政策实施前对照组和实验组没有明显差异。以此验证我们 DID 假设前提正确。

2、安慰剂检验

为了更全面地反映实验组的具体情况，增强该模型的严谨性，本文采用安慰剂进行检验。具体地，我们通过随机重新分配观测值，采用伪试点城市以及伪试点时间的交互项替换解释变量，探讨其对大气污染的影响是否与基准具有相同的趋势。如果没有，则侧面说明我们的模型是稳健的。为了结果的准确性，我们重复上述过程 500 次。结果如图 3 所示的伪处理组回归系数的核密度曲线。我们可以看到虚拟实验组大部分估计系数都位于 0 左右，基准回归系数 0.2 和-0.335 完全独立于安慰剂检验系数分布。从而我们可以得出结论，NCH 政策对 SO₂ 和 PM2.5 具有显著影响。

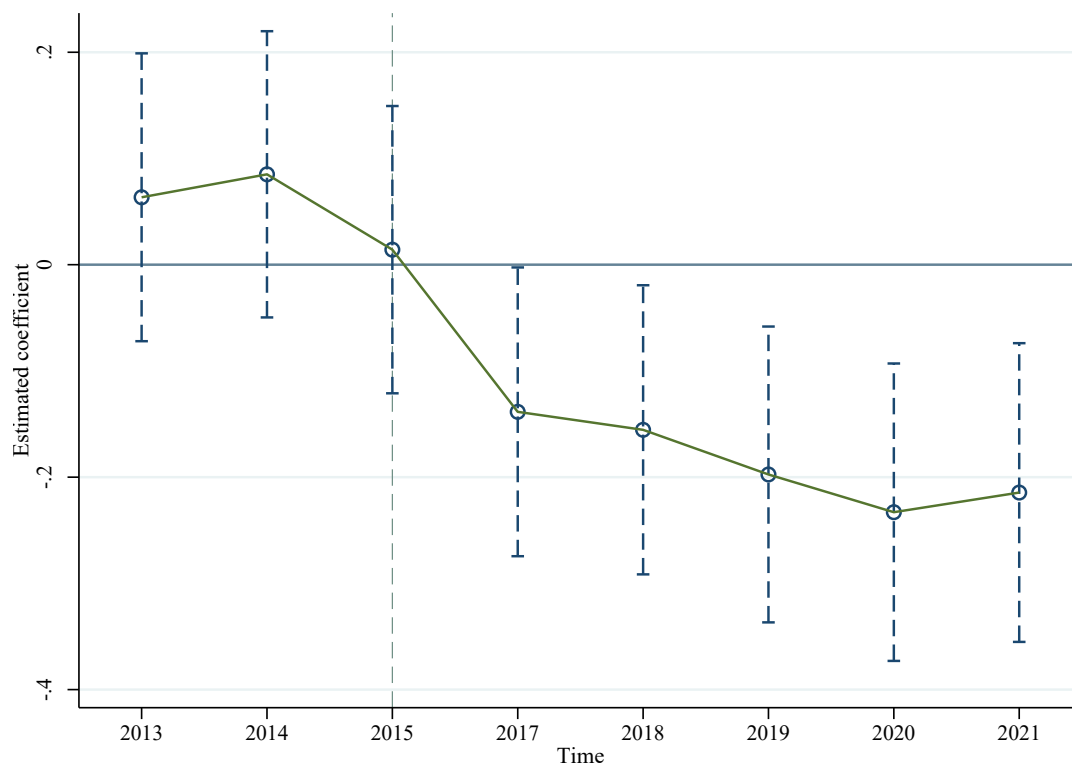


Figure 1. Parallel trend test results of NCH policy on SO₂

图 1. NCH 政策对 SO₂ 的平行趋势检验结果

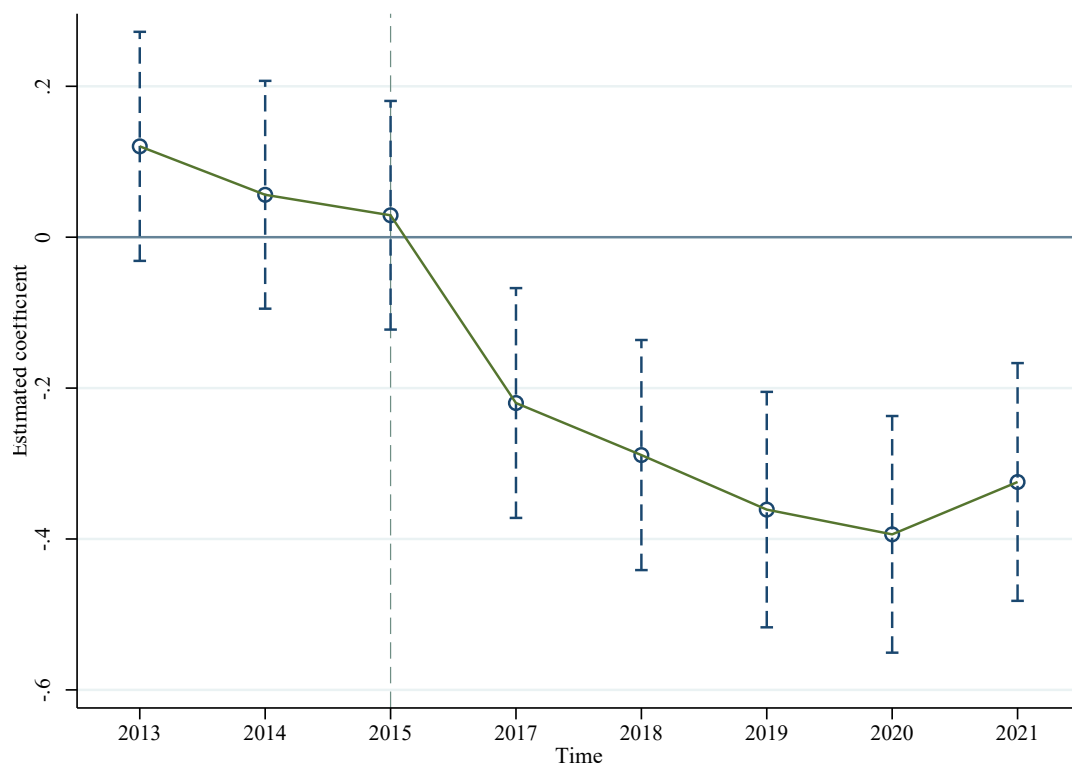


Figure 2. Parallel trend test results of NCH policy on PM_{2.5}

图 2. NCH 政策对 PM_{2.5} 的平行趋势检验结果

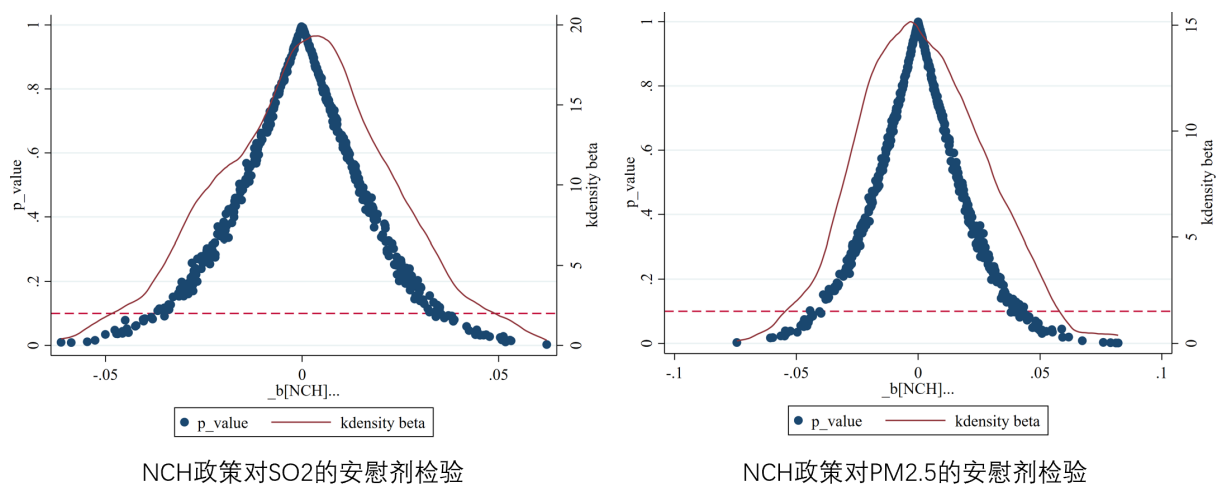


Figure 3. Results of placebo test
图 3. 安慰剂检验结果

(三) 异质性分析

本文基准回归模型的样本囊括了多个城市的面板数据，难以忽视的是，我国东、中、西部在诸多方面存在显著差异。东中部地区无论是在经济发展水平还是市场化程度上都显著高于西部地区，因此进行异质性分析具有较高的必要性。以下针对各变量展开异质性分析。回归结果如表 3，可以看到 NCH 政策在对 $\ln\text{SO}_2$ 的影响上，西部-0.123 ($t=-1.571$)未达显著，东、中部地区呈现显著负向关联；而对于 $\ln\text{PM}_{2.5}$ ，东部-0.272 ($t=-4.078$)、中部-0.492 ($t=-6.622$)、西部-0.220 ($t=-2.308$)均呈显著负相关，其中中部减排效果突出，西部相对较弱。由此验证了 **H1**。上述结果意味着西部地区较低的经济水平以及不成熟的市场机制限制了清洁供暖基础设施投入和技术升级能力，削弱政策效果。而中部地区相比东部地区减排系数更高，这是由于中部地区仍以重工业(钢铁、化工)为支柱产业，煤炭依赖度高(如山西、河南) [22]，清洁供暖替代散煤的减排空间巨大。东部已实现产业高端化(如长三角数字经济) [23]，能源结构相对清洁，政策边际收益递减。

Table 3. Heterogeneity analysis results
表 3. 异质性分析结果

变量	$\ln\text{SO}_2$			$\ln\text{PM}_{2.5}$		
	东	中	西	东	中	西
NCH	-0.227*** (-3.355)	-0.267*** (-4.545)	-0.123 (-1.571)	-0.272*** (-4.078)	-0.492*** (-6.622)	-0.220** (-2.308)
常数项	3.298 (1.052)	1.646 (0.758)	5.093* (1.876)	0.394 (0.134)	12.002*** (4.446)	9.675** (2.167)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
Observations	1000	990	830	1000	990	830
R-squared	0.891	0.875	0.891	0.904	0.803	0.832

注：***、**、和*分别表示 1%、5%和 10%水平的统计显著性。

5. 结论与政策建议

本文基于中国政府 2017 年颁布的《北方地区冬季清洁供暖计划》，利用 2012~2021 年中国 282 个地级市的数据，验证了该清洁供暖对大气污染的影响。实证分析的结果表明，清洁供暖对大气污染具有显著的降低作用。鉴于此，本文提出了以下建议：

清洁供暖对减少大气污染具有显著的作用，因此地方政府应该进一步巩固和加强该政策的效果。基于估算出的巨大环境效益，地方政府可以提高对购买清洁供暖设备的税收优惠和选择集中供暖的补贴，以实现最大化治理效果；基于政策效果在西部地区较差，未来可以设立中央财政专项转移支付；共建“东中西技术转移飞地”；试点污染治理专项债，来帮助西部地区更好地实现减排。

参考文献

- [1] Ma, M., Tang, X., Shi, C., Wang, M., Li, X., Luo, P., *et al.* (2023) Roadmap Towards Clean and Low-Carbon Heating to 2060: The Case of Northern Urban Region in China. *Energy*, **284**, Article ID: 129181. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129181>
- [2] Xue, W., Wang, L., Yang, Z., Xiong, Z., Li, X., Xu, Q., *et al.* (2023) Can Clean Heating Effectively Alleviate Air Pollution: An Empirical Study Based on the Plan for Cleaner Winter Heating in Northern China. *Applied Energy*, **351**, Article ID: 121923. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121923>
- [3] Han, D., Yan, S. and Sun, X. (2024) Research on the Air Pollution Reduction Effect of Winter Clean Heating Policy. *Urban Climate*, **53**, Article ID: 101760. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101760>
- [4] Feng, T., Du, H., Coffman, D., Qu, A. and Dong, Z. (2021) Clean Heating and Heating Poverty: A Perspective Based on Cost-Benefit Analysis. *Energy Policy*, **152**, Article ID: 112205. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112205>
- [5] Zhang, W., Zhang, P., Zhao, J., Wang, F., Shang, Y., Fang, P., *et al.* (2024) The Uneven Distribution of Health Benefits and Economic Costs from Clean Heating in Rural Northern China. *Science Bulletin*, **69**, 1852-1856. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2024.04.035>
- [6] Yuan, Y., Lin, Y., Qiao, X. and Kong, X. (2024) Comprehensive Evaluation on Performance and Local Impact in Energy, Environment, and Economy of Different Rural Clean Heating Modes: A Case Study in Northeastern China. *Journal of Building Engineering*, **88**, Article ID: 109219. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.109219>
- [7] Li, Y., Qiao, L., Liu, M., Yang, Y., Yu, F., Yuan, X., *et al.* (2024) Access to Affordable and Clean Domestic Heating: A Critical Review on Rural Clean Heating Transformation in China's Jing-Jin-Ji and Its Surrounding Areas. *Energy and Buildings*, **323**, Article ID: 114829. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114829>
- [8] Wang, M. and Xie, L. (2023) Households' Participation in Energy Transition and Sustained Use of Clean Energy: Evidence from China's Clean Heating Program. *China Economic Review*, **80**, Article ID: 102005. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2023.102005>
- [9] 胡宇鹏. 华北地区清洁供暖能源转型案例研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 中北大学, 2022.
- [10] 郭佳钰. 农村清洁取暖改造推广的问题及对策研究[D]: [硕士学位论文]. 临汾: 山西师范大学, 2021.
- [11] Zhang, Z., Zhou, Y., Zhao, N., Li, H., Tohniyaz, B., Mperejekumana, P., *et al.* (2021) Clean Heating during Winter Season in Northern China: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **149**, Article ID: 111339. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111339>
- [12] Bai, C., Zhan, J., Wang, H., Yang, Z., Liu, H., Liu, W., *et al.* (2023) Heating Choices and Residential Willingness to Pay for Clean Heating: Evidence from a Household Survey in Rural China. *Energy Policy*, **178**, Article ID: 113617. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113617>
- [13] Li, M. and Lin, B. (2024) Clean Energy Business Expansion and Financing Availability: The Role of Government and Market. *Energy Policy*, **191**, Article ID: 114183. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114183>
- [14] Zhao, X., Mahendru, M., Ma, X., Rao, A. and Shang, Y. (2022) Impacts of Environmental Regulations on Green Economic Growth in China: New Guidelines Regarding Renewable Energy and Energy Efficiency. *Renewable Energy*, **187**, 728-742. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.076>
- [15] Muhammad, S., Pan, Y., Agha, M.H., Umar, M. and Chen, S. (2022) Industrial Structure, Energy Intensity and Environmental Efficiency across Developed and Developing Economies: The Intermediary Role of Primary, Secondary and Tertiary Industry. *Energy*, **247**, Article ID: 123576. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123576>
- [16] Zhou, N., Fridley, D., Khanna, N.Z., Ke, J., McNeil, M. and Levine, M. (2013) China's Energy and Emissions Outlook

- to 2050: Perspectives from Bottom-Up Energy End-Use Model. *Energy Policy*, **53**, 51-62.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.09.065>
- [17] Lin, B. and Zhou, Y. (2022) Does Energy Efficiency Make Sense in China? Based on the Perspective of Economic Growth Quality. *Science of the Total Environment*, **804**, Article ID: 149895.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149895>
- [18] Yu, Y. and Tang, K. (2023) Does Financial Inclusion Improve Energy Efficiency? *Technological Forecasting and Social Change*, **186**, Article ID: 122110. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122110>
- [19] 董伟康, 干奕, 李文扬. 心系天下冷暖践行央企担当——“天光地热”系统解锁冬季清洁供暖新模式[J]. 中国核工业, 2025(5): 47-49.
- [20] 李佳洋. 清洁供热项目的风险评价和管理[J]. 中国商人, 2025(10): 20-21.
- [21] 刘相杰, 刘艳. 新能源示范城市建设对空气污染的影响[J]. 西南林业大学学报(社会科学), 2025, 9(4): 34-41.
- [22] 彭庆庆, 吉嫦婧, 王翔宇, 等. 基于 DEA 的煤炭主导型区域工业碳排放效率评价研究[J]. 煤炭工程, 2025, 57(7): 203-209.
- [23] 齐佳奇. 数字经济背景下资本深化对商贸流通业高质量发展的影响——以京津冀、长三角与珠三角三大城市群为例[J]. 商业经济研究, 2025(15): 184-188.