

空气质量监测与城乡健康差距

张 凡 周 力 李昊洋

目录

附录 I 空气质量监测、污染分布与健康 (两阶段回归结果)	1
附录 II 稳健性检验	2
附录 III 附图	7
参考文献	8

附录 I 空气质量监测、污染分布与健康（两阶段回归结果）

根据前面研究发现,空气质量监测可能会影响城乡污染分布,进而传导至城乡健康公平。由于现有文献对于该传导路径的讨论尚存在空缺,本研究使用两阶段最小二乘法(2SLS)进行机制检验。具体做法为,使用空气质量监测作为工具变量,就二氧化硫对哮喘疾病进行2SLS回归。表 I1 汇报了工具变量两阶段最小二乘法的回归结果。根据列(2)和列(4),可以发现,第一阶段回归结果的F值均大于3且通过了1%的显著性检验,说明空气质量监测并不存在弱工具变量问题。回归结果显示,二氧化硫排放的增加对农村居民和城市居民均显著为正,并且系数与涂正革等(2018)研究结论类似,这说明二氧化硫排放量的增加对城乡居民均产生显著的危害。第一阶段结果显示,空气质量监测显著增加了设站城市农村地区的二氧化硫排放量,显著降低了设站城市城区二氧化硫排放量。上述结果表明,空气质量监测促使污染城乡分布的差异,从而对设站城市城乡居民产生不同影响。对于农村地区来说,空气质量监测提升了设站城市农村地区污染排放,进而恶化了农村地区居民的健康状况;对于城市居民来说,空气质量监测降低了设站城市城区的污染排放,进而改善了城区居民的健康状况。

表 I1 两阶段回归结果

	农村地区		城市地区	
	污染对健康的影响	第一阶段回归结果	污染对健康的影响	第一阶段回归结果
二氧化硫	0.4889* (0.2763)		0.5184* (0.2655)	
$policy_{ci}$		0.0094** (0.0036)		-0.0477*** (0.0131)
控制变量	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是
N	64 917		15 045	
R^2	0.0001		0.0018	
F 值		3.09		56.96
P 值		0.0000		0.0000

注：括号中是 Cluster 到地级市层面的稳健标准误；*、**、***分别表示 10%、5%、1%的显著性水平；并且所有模型均控制了个体固定效应和时间固定效应。控制变量有个体特征、家庭特征、城市特征、气候特征等，其中个体特征包括受教育程度、是否结婚、性别、年龄、是否吸烟；家庭特征包括做饭是否为清洁能源、室内整洁程度；城市特征包括经济增长水平、第二产业比重、农业秸秆焚烧；气候特征包括风速、降水量、日照和气温。

附录 II 稳健性检验

上述基准回归结果表明,空气质量监测降低了设站城市城区居民患有哮喘病的概率,但提升了该城市农村地区居民哮喘患病率。上述实证结果仍然面临些许挑战。一方面,回归结果是否受到其他竞争性政策的影响;另一方面,回归结果是否受到模型设定、样本区间等的影响。基于此,本研究基于居民健康状况的估计结果进行以下稳健性检验¹。

1. 排除其他政策的影响

如果空气质量监测的同一时期内还有其他政策发生变化,那么估计结果就可能受到混合性因素的影响,从而产生估计偏误。因此,为剔除混杂因素的干扰,本文在排除同期其他政策(如,“大气十条”政策等²)的影响后重新进行了回归。回归结果见表 II 1 中 Panel A 的列(1)-列(3)。结果显示,各变量估计系数在大小与显著性方面相较基准回归结果并未发生大的变化。

2. 基于 PSM 匹配样本的估计

为了解决双重差分样本选择偏误问题,本文采用 PSM 模型最为常用的“最近邻匹配(K=1)”(nearest neighbor matching)方法找到与实验组样本倾向得分值最接近的对照组样本。基于上述匹配结果,本文再次使用双重差分模型进行估计,其结果如表 II 1 中 Panel A 的列(4)-列(6)。可以发现,该结果与基准回归结果在系数大小和显著性方面并没有显著区别。

3. 剔除居住位置变动的样本

空气质量监测有助于人们及时了解大气当中所存在的一些污染情况,同时也可以根据监测结果制定出具有针对性预防措施。在“用脚投票”机制下,人们可能搬迁到空气质量较好的地区(人口迁移结果见表 II 4)³。如果不剔除上述居住位置发生变动的样本,无法得到有效的估计量。因此,本研究剔除样本期间内居住位置发生变动的样本,回归结果见表 II 1 中 Panel B 的列(1)-列(3)。结果显示,剔除个人居住位置变动后的估计结果与基准回归结果一致。

4. 采用平衡面板数据回归

为减少选择偏差,先前的一些研究通过排除那些在考察时期内退出的个人样本以构建一个平衡面板模型(余森杰,2010)。因此,本文采用平衡面板的样本重新进行估计,结果如表 II 1 中 Panel B 中列(4)-列(6)所示。结果显示,平衡面板数据的回归结果与基准结果一致。

5. 重新界定城乡范围

基准结果中,我们将城市定义为主城区和城乡结合区,其他地区则统一划分为农村地区。然而,空气质量监测的站点主要分布在主城区,其对于城乡结合区的影响可能较小。基于上述考虑,我们将城乡结合区划分为农村地区。回归结果见表 II 1 中 Panel C 的列(1)-列(3)。结果显示, $policy_{ct}$ 的估计系数在方向和显著性均与基准结果一致。

6. 删除有农村监测点的城市样本

《环境空气质量标准》规定空气质量监测的站点主要分布在主城区。现实中,小部分空

¹ 本部分仅汇报了哮喘的稳健性检验结果,污染和慢性肺部疾病的稳健性检验见表 II 2 和表 II 3。

² 《大气污染防治行动计划》是中国针对大气污染问题制定的重要环境规则之一,建立了集中规划、区域分解、政治激励、多措并举和持续调整的空气监管体系,有效改善了中国大部分地区的空气质量。“大气十条”也涵盖了较为全面的污染治理措施,涉及产业结构升级、调整能源结构、发挥市场调节机制、健全法律法规体系和建立监测预警应急体系等方面。参考王群伟和李振冉(2024)的做法,使用“大气十条”的政策虚拟变量($treat \times post$)表征,以京津冀城市群作为实验组。若样本城市为试点城市,则赋值为1,否则为0; $post$ 为年份虚拟变量,2013年及之后取1,否则为0。

³ 附录 F 汇报了空气质量监测对人口迁移的影响。结果表明,空气质量监测并没有促进人口的迁移,并不存在相应的内生性。

气质量监测站点分布在农村地区。根据空气质量监测站点的经纬度判断，有 22 个站点分布在农村地区，占总站点比重为 1.47%。为了更准确地度量城乡偏向型的空气质量监测对健康公平的影响，本研究删除了拥有农村空气质量监测站的样本。回归结果见表 II 1 中 Panel C 的列（4）-列（6）。结果显示，剔除含有农村空气质量监测的城市样本后，相关回归结果依然稳健。

7. 内生性分析

本文探究的是城市偏向型环境政策对污染分布、居民健康状况的影响，考虑到实证分析中可能存在内生性问题，本文采用工具变量进行分析。本文的内生性来源如下：一是，反向因果；污染排放少或者居民健康状况好的地区，拥有的环境政策越完善。二是，遗漏变量；一些无法观测的因素或者可观测但 CHARLS 数据库无法度量的因素（文化或者自然条件），不仅会影响地区环境政策实施，还会影响居民健康状况。鉴于此，本文采用工具变量进行分析。选择逆温强度作为工具变量的原因在于，出现逆温现象时，空气无法形成对流，污染物难以向高空扩散，从而加重环境问题，对地方环境政策产生影响（周闻宇等，2025）。此外，目前没有经验证据表明逆温强度能通过环境政策以外的渠道影响污染分布或者居民健康状况。回归结果见表 II 1 中 Panel D 的列（1）-列（6）。结果显示，第一阶段回归的 F 值均大于 10 且通过了 1%水平下的显著性检验，说明逆温并不存在弱工具变量问题。此外，根据 Hausman 检验，可以发现，工具变量回归结果与原有结果不存在系统性差异，原有回归结果是有效的。

8. 利用交互项进行回归

基准回归中采用分组回归探究空气质量监测对城乡居民健康的差异性影响。分组回归分析的优点在于能够清楚地比较不同组间的差异，结果直观易懂。然而，该方法也存在样本量要求高的问题，若样本量不足，估计结果可能不稳定。鉴于此，本文利用空气质量监测与城乡变量的交互项进行稳健性。回归结果见表 II 1 中 Panel D 的列（4）和列（5）。结果显示，相关结论与基准回归结果一致。

表 II 1 稳健性检验结果

Panel A	排除其他竞争性解释			PSM-DID		
	总样本	农村样本	城市样本	总样本	农村样本	城市样本
<i>policy_{ct}</i>	0.0046* (0.0027)	0.0046** (0.0021)	-0.0251** (0.0099)	0.0044* (0.0026)	0.0046** (0.0021)	-0.0245** (0.0100)
大气十条	是	是	是			
控制变量	是	是	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是	是
<i>N</i>	78 416	63 794	14 622	78 116	63 526	14 590
<i>R</i> ²	0.6149	0.6804	0.3990	0.6156	0.6810	0.3997
Panel B	平衡面板数据			删除位置变量变动样本		
	总样本	农村样本	城市样本	总样本	农村样本	城市样本
<i>policy_{ct}</i>	0.0057* (0.0031)	0.0061** (0.0028)	-0.0297** (0.0127)	0.0048* (0.0028)	0.0048** (0.0023)	-0.0214* (0.0125)
控制变量	是	是	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是	是
<i>N</i>	45 269	39 431	5 838	68 716	56 351	12 365
<i>R</i> ²	0.5879	0.6475	0.2965	0.6124	0.6799	0.3753
Panel C	重新界定城乡范围			删除有农村监测站的城市		
	总样本	农村样本	城市样本	总样本	农村样本	城市样本
<i>policy_{ct}</i>	0.0045* (0.0027)	0.0058*** (0.0021)	-0.0313*** (0.0099)	0.0047* (0.0026)	0.0044* (0.0021)	-0.0224* (0.0100)

	(0.0026)	(0.0021)	(0.0111)	(0.0028)	(0.0023)	(0.0120)
控制变量	是	是	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是	是
<i>N</i>	78 416	66 700	11 716	72 377	58 497	13 898
<i>R</i> ²	0.6149	0.6641	0.4079	0.6112	0.6825	0.3942
Panel D	内生性分析			交互项回归		
<i>policy_{ct}</i>	0.0395 (0.0288)	0.0415 (0.0261)	0.0383 (0.4153)	0.0045* (0.0026)	-0.0520*** (0.0073)	
<i>policy_{ct} # rural_i</i>					0.0658*** (0.0070)	
控制变量	是	是	是	是	是	
个体固定效应	是	是	是	是	是	
时间固定效应	是	是	是	是	是	
<i>N</i>	80 244	64 917	15 327	78 416	78 416	
<i>R</i> ²	0.0018	0.0001	0.0209	0.6149	0.6173	
第一阶段回归结果						
逆温1	-0.3766** (0.1421)	-0.3991** (0.1427)	-0.0257 (0.2549)			
逆温2	0.2392** (0.0978)	0.2514** (0.0949)	-0.0286 (0.2424)			
控制变量	是	是	是			
个体固定效应	是	是	是			
时间固定效应	是	是	是			
F值	2895.51	2559.37	6141.15			
P值	0.0000	0.0000	0.0000			
Hausman检验	2.28	3.21	0.01			
	1.0000	1.0000	1.0000			

注：括号中是 Cluster 到地级市层面的稳健标准误；*、**、***分别表示 10%、5%、1%的显著性水平；并且所有模型均控制了个体固定效应和时间固定效应。控制变量有个体特征、家庭特征、城市特征、气候特征等，其中个体特征包括受教育程度、是否结婚、性别、年龄、是否吸烟；家庭特征包括做饭是否为清洁能源、室内整洁程度；城市特征包括经济增长水平、第二产业比重、农业秸秆焚烧；气候特征包括风速、降水量、日照和气温。

表 II 2 污染的稳健性检验

Panel A	排除其他竞争性解释			PSM-DID		
	总样本	农村样本	城市样本	总样本	农村样本	城市样本
<i>policy_{ct}</i>	-0.0106** (0.0042)	0.0099** (0.0042)	-0.0135** (0.0059)	-0.0110** (0.0042)	0.0095** (0.0042)	-0.0142** (0.0059)
大气十条	是	是	是			
控制变量	是	是	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是	是
<i>N</i>	1 295	1 295	1 295	1 291	1 291	1 291
<i>R</i> ²	0.9970	0.9967	0.9871	0.9969	0.9967	0.9871

Panel B	内生性分析			删除有农村监测站的城市		
$policy_{ct}$	-0.2141 (0.2464)	-0.1829 (0.2193)	0.0951 (0.3557)	-0.0107** (0.0044)	0.0086** (0.0043)	-0.0123** (0.0060)
控制变量	是	是	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是	是
N	1 287	1 287	1 287	1 220	1 220	1 220
R^2	0.5009	0.4734	0.4484	0.9970	0.9967	0.9872
第一阶段回归结果						
逆温1	-0.1081 (0.0936)					
逆温2	0.0465 (0.0555)					
F值	21474.38					
P值	0.0000					
Hausman检验	1.62 0.9998	1.90 0.9995	16.31 0.1776			

注：括号中是 Cluster 到地级市层面的稳健标准误；*、**、***分别表示 10%、5%、1%的显著性水平。回归方程的控制变量主要包括：人均 GDP、第二产业占比、工业总产值占比、一般工业固体废物综合利用率、工业企业数、人口密度和金融发展程度。

表 II 3 慢性肺部疾病的稳健性检验

Panel A	排除其他竞争性解释			PSM-DID		
	总样本	农村样本	城市样本	总样本	农村样本	城市样本
$policy_{ct}$	-0.0032 (0.0025)	-0.0033 (0.0027)	-0.0052 (0.0065)	-0.0026 (0.0025)	-0.0029 (0.0027)	-0.0041 (0.0064)
大气十条	是	是	是			
控制变量	是	是	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是	是
N	78 416	63 794	14 622	78 116	63 526	14 590
R^2	0.7360	0.7365	0.7298	0.7357	0.7361	0.7302
Panel B	平衡面板数据			删除位置变动样本		
	总样本	农村样本	城市样本	总样本	农村样本	城市样本
$policy_{ct}$	-0.0002 (0.0034)	0.0011 (0.0036)	-0.0149 (0.0107)	-0.0037 (0.0025)	-0.0041 (0.0027)	-0.0030 (0.0068)
控制变量	是	是	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是	是
N	45 269	39 431	5 838	68 716	56 351	12 365
R^2	0.6968	0.7000	0.6551	0.7331	0.7352	0.7146
Panel C	重新界定城乡范围			删除有农村监测站的城市		
	总样本	农村样本	城市样本	总样本	农村样本	城市样本
$policy_{ct}$	-0.0027 (0.0024)	-0.0028 (0.0026)	-0.0055 (0.0061)	-0.0037 (0.0026)	-0.0038 (0.0028)	-0.0076 (0.0075)
控制变量	是	是	是	是	是	是

个体固定效应	是	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是	是
N	78 416	66 700	11 716	72 377	58 497	13 898
R^2	0.7360	0.7351	0.7403	0.7386	0.7396	0.7294
Panel D	内生性分析			交互项回归		
$policy_{ct}$	0.0428 (0.0329)	0.0237 (0.0296)	-0.1467 (0.5370)	-0.0027 (0.0024)	0.0021 (0.0042)	
$policy_{ct} \# rural_i$					-0.0055 (0.0049)	
控制变量	是	是	是	是	是	
个体固定效应	是	是	是	是	是	
时间固定效应	是	是	是	是	是	
N	80 244	64 917	15 327	78 416	78 416	
R^2	0.0023	0.0020	0.0002	0.7360	0.7360	
第一阶段						
逆温1	-0.3766** (0.1421)	-0.3991** (0.1427)	-0.0257 (0.2549)			
逆温2	0.2392** (0.0978)	0.2514** (0.0949)	-0.0286 (0.2424)			
控制变量	是	是	是			
个体固定效应	是	是	是			
时间固定效应	是	是	是			
F值	2895.51	2559.37	6141.15			
P值	0.0000	0.0000	0.0000			
Hausman 检验	3.50 0.9999	1.14 1.0000	0.17 1.0000			

注：括号中是 Cluster 到地级市层面的稳健标准误；*、**、***分别表示 10%、5%、1%的显著性水平；并且所有模型均控制了个体固定效应和时间固定效应。控制变量有个体特征、家庭特征、城市特征、气候特征等，其中个体特征包括受教育程度、是否结婚、性别、年龄、是否吸烟；家庭特征包括做饭是否为清洁能源、室内整洁程度；城市特征包括经济增长水平、第二产业比重、农业秸秆焚烧；气候特征包括风速、降水量、日照和气温。

表 II 4 空气质量监测对人口迁移的影响

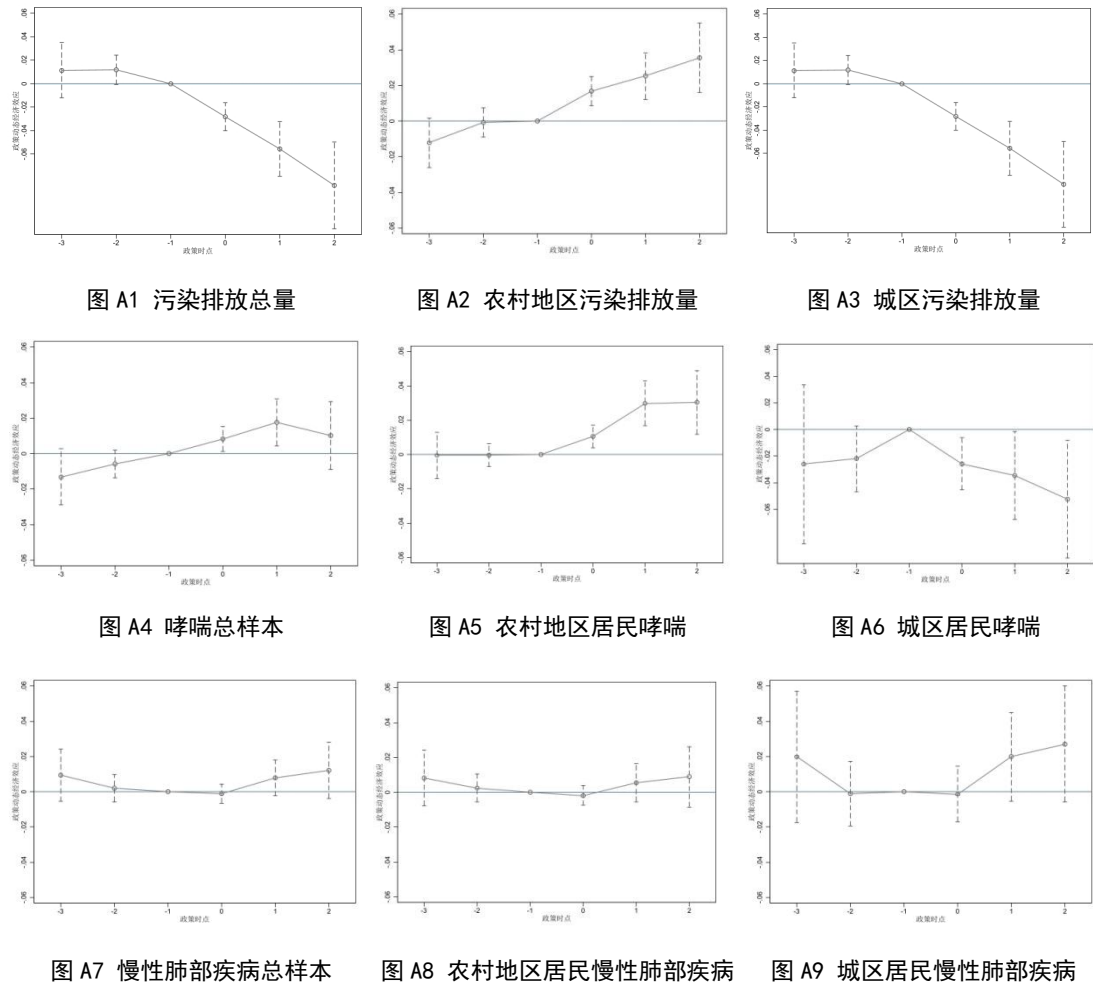
	总样本	人口迁移	
		农村样本	城市样本
$policy_{ct}$	-0.0020 (0.0037)	0.0002 (0.0037)	0.0103 (0.0086)
控制变量	是	是	是
个体固定效应	是	是	是
时间固定效应	是	是	是
N	78 416	63 794	14 622
R^2	0.3567	0.3507	0.3855

注：括号中是 Cluster 到地级市层面的稳健标准误；*、**、***分别表示 10%、5%、1%的显著性水平；并且所有模型均控制了个体固定效应和时间固定效应。控制变量有个体特征、家庭特征、城市特征、气候特征等，其中个体特征包括受教育程度、是否结婚、性别、年龄、是否吸烟；家庭特征包括做饭是否为清洁能源、室内整洁程度；城市特征包括经济增长水平、第二产业比重、

农业秸秆焚烧；气候特征包括风速、降水量、日照和气温。

附录 III 附图

平行趋势检验图



参考文献

涂正革、张茂榆、许章杰、冯豪，“收入增长、大气污染与公众健康”，《中国人口·资源与环境》，2018年第6期，第130-139页。

余淼杰，“中国的贸易自由化与制造业企业生产率”，《经济研究》，2010年第12期，第97-110页。

周闻宇、袁哲、周默涵、李劼巍，“空气污染如何影响线上消费——来自淘系电商平台的证据”，《数量经济技术经济研究》，2025年第1期，第178-199页。

注：该附录是期刊所发表论文的组成部分，同样视为作者公开发表的内容。如研究中使用该附录中的内容，请务必在研究成果上注明附录下载出处。