

空气污染是否加剧了新冠病毒的传播?[%]

——来自中国城市的实证研究

陈卓[#] 陈珂琪["] 李洁^E

[%] 作者感谢国家自然科学基金专项项目

萎缩 " 面对百年一遇的重大疫情 , 在党中央 ! 国务院的领导下 , 经过全国各级政府 ! 医务工作者 ! 党员群众艰苦卓绝的努力 , 疫情防控取得决定性成果 , 境内传播已基本阻断 , 各地复产复工有序推进 " 但是 , 海外疫情仍然处于蔓延期 , 境内个别地区社区传播时有发生 , 我国疫情境外输入和境内反复形势依然严峻 " 当今世界经济全球化程度较高 , 我国与各国的交流必将逐步恢复 , 因此推进常态化疫情防控和社会经济发展成为未来一段时间的工作重点 "

为了实现疫情防控和经济发展的双重目标 , 理解影响新冠病毒传播能力和致病性的原因尤其重要 " 已有研究发现严格的居家隔离措施($W+^*C$;= +07 #\$\$\$; $H+^*C$;= +07 #\$\$\$+)、较高的温度和湿度($H+^*C$;= +07 #\$\$\$>)、年龄和某些基础病症等潜在风险因素的及早发现()(-. ;= +07 #\$\$\$) 对于降低新冠病毒传播和减轻重症率上具有显著作用 " 与此同时 , 有关呼吸道疾病的研究已发现空气污染有可能提高该类疾病的发病率和致病性($L-C+^*$, %&T"; ' -00;Y ;= +07 , %&F"; $L;RY$;= +07 , %&FF; $N-<$; , %&!&; $N-<$; ;= +07 , #\$\$\$# ,

文的实证模型设定和数据来源,第"部分展示主要的实证结果,第E部分总结全文并提出相应的政策建议"

“ 文献回顾

由于新冠病毒极强的传染性('(-Q;00 +*D V)X.4-- ,###\$; Z)550;/ ; +07 ,###\$)和较高的重症率([+.D ; +07 ,###\$; J*D;/ ; +07 ,###\$;](-. ; +07 ,###\$) ,探究影响新冠病毒传播的因素对于科学防疫和有序推进复产复工具有重要意义 " H+*C ; +07(###\$>) 利用我国 %ST 个城市的数据 ,发现新冠病毒在温度较高 湿度较高的城市传播较慢 ,W+*C ; +07(###\$) 和 H+*C ; +07(###\$+) 发现我国强有力的居家隔离政策极大减缓了新冠病毒的社区传播^① " 虽然很多医学和公共卫生研究发现空气污染会增加呼吸道疾病的发病率 ,但是目前国内还缺乏针对地区空气质量和新冠肺炎疫情严重程度关系的研究^② " 过去几年在中央和各级地方政府的治理下 ,我国空气质量已取得长足进步 ,但地区之间空气质量水平仍有明显差异 ,同时各地在近年空气质量改善前也经历了不同的污染阶段 ,而这种短期或长期的空气质量差异是否影响新冠病毒的传播能力和致病性正是本文关注的重点 "

空气污染是工业化和经济发展过程中产生的负外部性(王敏和黄滢,2010;潘毅凡,2010)。空气污染不仅会直接损害人民群众的身体和心理健康(王敏和黄滢,2010;潘毅凡,2010),而且会通过增加医疗费用支出,降低劳动生产效率和阻碍人力资本流动造成更严重的经济损失(黄茂兴等,2010;李超和李涵,2010;李明和张亦然,2010;李卫兵和张凯霞,2010)。指出空气中PM₁₀浓度每上升10%,居民医疗费用支出将增加3.3%;PM₁₀每增加1μg/m³,实际GDP将下降0.1%。为了有效防治大气污染,保护公众健康,我国于2013年6月出台《大气污染防治行动计划》,要求到2017年全国地级及以上城市可吸入颗粒物浓度比2012年下降35%以上。之后,党的十九大报告明确指出,“我们要建设的现代化是人与自然和谐共生的现代化,既要创造更多物质财

① 利用其他国家数据研究城市封闭、居家隔离、社交距离等因素影响新冠疫情严重程度的研究还包括 M003== := +07(#\$\$\$) .M0R+/:X := +07(#\$\$\$) .20.074140.4.23(+)Tj0.4250010TDCTD(20.074140.4.23:(-)Tj0.68

②

富和精神财富以满足人民日益增长的美好生活需要,也要提供更多优质生态产品以满足人民日益增长的优美生态环境需要"必须坚持节约优先、保护优先、自然恢复为主的方针,形成节约资源和保护环境的空间格局、产业结构、生产方式、生活方式,还自然以宁静、和谐、美丽^①。"在一系列政策的推动下,我国空气质量相较前几年有了较大改善。全国PM_{2.5}指数平均值近五年来呈下降趋势,自2013年起,PM_{2.5}浓度分别下降15%、18%、20%、22%、24%左右(邵帅等,2018)。实施低碳城市建设试点地区的空气污染平均下降了15% (宋弘等,2018)。充分认识空气污染及其危害,才能更加坚定决心,保持定力,开展落实好相关工作,实现空气质量的持续改善。在当前疫情背景下,空气污染如何影响新冠病毒的传播,是否会加剧疫情对公共卫生安全和社会经济发展的损害?通过聚焦空气污染与重大传染病之间的关系,本文进一步突出了防治污染、打赢蓝天保卫战的重要意义。"

新冠疫情给我国和全球经济带来了巨大冲击,很多学者从宏观和微观等多个角度探讨了疫情对经济活动和金融市场的影响。严格的全国居家隔离和武汉等疫情严重地区的封城措施有效阻止了疫情的全面暴发,虽然在短期内我国居民线下消费需求将因此急剧下降(陈等,2020),中小微企业流动性压力倍增(廖理等,2020;朱武祥等,2020),多个行业和产业链遭受严重冲击(夏杰长和丰晓旭,2020;祝坤福等,2020)以及整体经济活力下降(陈等,2020),但与此同时,我国中央政府实施了积极的财政政策(李明等,2020),严格防范系统性金融风险(杨子晖等,2020),另有大数据等科技助力复产复工(王等,2020)。我国经济在2020年第一季度负增长后在全球主要经济体中首先复苏。学者们也意识到海外特别是美国疫情的持续蔓延使得其他国家的经济活动(陈等,2020)、小微企业融资(王等,2020)和不同地区的消费(王等,2020)都遭受了二战以来极大的影响,股票市场也经历了2008年大萧条以来罕有的波动(王等,2020;王等,2020;王等,2020)。因此我们关于空气污染对新冠病毒传播的研究不仅有利于未来常态化疫情防控,对后期全球开展经济活动的有序恢复也具有一定启示作用。"

相较于现有研究,本文的贡献主要体现在三个方面。第一,本文是国内第一个关注空气污染对新冠病毒传播能力影响的研究,拓展了影响疫情传播因素

① (= <: \$S1)*+*3;75)*+73-473*\$3()+*SC*3k\$#\$%F9k\$9%!\$D-39;1Y4R.Y-E\$&!!"\$75(=40

② 其他关于新冠疫情影响的研究还包括经济不确定性的增大(王等,2020)、个人对生产恢复与疫情防控的选择(王等,2020)、社交距离与居家工作(王等,2020)、疫情影响的历史经验(王等,2020;王等,2020)。同时,一系列的近期研究讨论了新冠疫情的宏观理论和实证检验,包括2)3(;>+.4 ;:=+07(#\$\$\$)、@.:/;/) ;:=+07(#\$\$\$)、P-*C ;:=+07(#\$\$\$)、P.*C ;:=+07(#\$\$\$)、-/Dx ;:=+07(#\$\$\$)、L.DR)C5-* ;:=+07(#\$\$\$)、刘世锦等(#\$\$\$)。

的相关文献,为建立疫情防控与预警的长效机制提供启示"第二,虽然已有少数文献开始关注空气污染对新冠病毒的传播能力和致病性的影响,但尚未就其中的因果关系影响机制作出深入探讨"本文将研究视角放到中国城市层面,基于地区间的差异,利用秦岭9淮河线等工具变量及多组异质性分析,尝试更加清晰地揭示空气污染对新冠病毒传播的助推作用"第三,本文丰富了空气污染对生命健康和社会经济发展影响的相关研究"空气污染不仅直接损害身体健康,而且会通过加剧百年一遇的新冠病毒传播进一步产生危害,增加社会经济负担,再次突出了大力防治污染!全面贯彻绿色发展观的重要性"

\$ 数据与研究方法

\$#" 数据说明

本文使用的新冠疫情数据来自':VMO 疫情数据库,该数据库搜集了自##%年%月%日以来国家卫生健康委员会每日公布的各市疫情数据,包括累计确诊病例($M33' - *1/4;D$)、累计死亡病例($M33?;+(-)$)、新增确诊病例($8;Q' - *1/4;D$)、新增死亡病例($8;Q?;+(-)$)等"本文还计算了死亡率(即累计死亡/累计确诊,记为 $?;+(-O+;)$)和疫情持续时长(即自第一例病例至连续F天无新增本土病例的天数,记为 $N;/-D$)来衡量疫情的严重程度"由于湖北省是此次国内疫情的#震中",尤其是武汉,确诊人数和死亡人数远高于其他省市"为避免离群值的干扰,本文在基准回归中删除了湖北省%F个城市(包含武汉市)的观测"在稳健性分析中,本文将加入湖北(除武汉外)的城市观测,以检验文章结论的一致性"

截至##%年#月#&日^①,全国超过"#\$个城市在本次新冠疫情中都发生了新冠确诊病例,而其中超过F\$个城市出现了因新冠病毒致死的病例"武汉市作为本次疫情的#重灾区",累计确诊病例达E&###例,累计死亡病例为##&T例"表%展示了截至##%年#月#&日国内累计确诊病例和累计死亡病例的地理分布情况"与湖北临近的河南!湖南!安徽,以及北京!上海!广东!重庆等人口流动较多的省市,疫情也相对严重"本文在实证分析中将控制人口流动这一重要因素"

①#月底,疫情已得到基本控制,复工复产开始稳步推进""月%日,武汉首家方舱医院休舱,武汉定点医院!方舱医院!隔离治疗点全部实现#床等人"(= $<: \$\$QQQ7d$)*(.+*;-73-4\$<-0)-35\$##\$9\$"\$##\$3n%#TAT\$E!#7(=4)。"月E日,全国##省区市下调应急响应级别(= $<5: \$\$>+)$)+(+-7>+)D.73-4\$5?)DU%AA\$#E%TTATTA&#!%!FtQ1/U5<)D;/t1-/U<3)。这表明"月份之后,本土疫情传播已明显减缓"在传染源被严格隔离,病毒传播途径被有力阻断的情况下,空气污染等其他因素对疫情传播的影响也将受限"因此,本文在主要分析中以#月#&日为样本结束日期"在"7T稳健性分析中,如果将样本结束日期延长至"月"日,本文结论依然成立"

! & NV' 。
 #7T & #7T'
 " \$ T\$\$ ① " V22'
 %\$\$ "
 L) ;= +07 & #\$\$%&' 。
 Mg_ T
 " Mg_ %8 #\$\$7%7% % #\$\$7%7#" Mg_
 9 Mg_ #8 #\$\$7%7#" \$
 #\$\$T% #\$\$% a#% \$ Mg_
 9 Mg_ "8 #\$\$T7%7% % #\$\$%7%7#" Mg_
 T 9 Mg_ ^E8 #\$\$7%7#E
 tU\$ a%E a! F Mg_ 9 Mg_ ^T8 #\$\$7%7#E t
 U\$ a#% a! %E Mg_ " % Mg_ % !Mg_ # !Mg_ "

续表

N+*,0 [7城市面板(新增确诊 新增死亡和死亡率为 ##\$7%7#E % ##\$7#7##& 的日度数据)									
变量	变量名	观测量	均值	标准差	V)*	N#T	中位数	NFT	V+d
新增确诊	8;Q'-*)/4;D	&A!#	%7#!	"7!&	\$	\$	\$	%	##\$%
新增死亡	8;Q?;+=(	&A!%	\$7\$%	\$7%%	\$	\$	\$	\$	"
死亡率\$K	?;+:(O+;	&ATT	\$7"!	#7\$"	\$	\$	\$	\$	%%\$
Mg_E	Mg_ ^E	&A!#	F!7##	E#7#!	##7!A	EF7TF	AE7%E	&T7\$\$	##FE7A\$
Mg_T	Mg_ ^T	&A!#	!%7#A	E\$7AF	#A7E"	T\$7#&	A!7&"	%%\$7F\$	##EA7E\$
温度 E	!;4 ^E	&A!#	"7#A	!7F\$	a#F7AE	a#7\$%	E7F\$	!7!F	##7&E
温度 T	!;4 ^T	&A!#	"7\$%	!7F!	a#T7&E	a#7EE	E7T%	!7AE	##7"!
湿度 E	O(. ^E	&A!#	F%7##	%7"!	#7!TF	A77F%	F#7TF	!%7TF	&&7\$
湿度 T	O(. ^T	&A!#	F#7#A	%7A&	#E7&"	AT7!T	FE7\$\$	!%7%E	&E7TF
城内出行强度 E	H'V_ ^E	&A!#	"7"E	%7E!	\$7""	#7%&	#7&\$	E7A\$	!7\$T
城内出行强度 T	H'V_ ^T	&A!#	"7A#	%7E"	\$7E"	#7E\$	"7E"	E7&A	F7TE
从武汉迁入强度 E	_V ^E _{HP}	&A!#	\$7#F	\$7!E	\$7\$	\$7\$	\$7\$	\$7%F	%E7A%
从武汉迁入强度 T	_V ^T _{HP}	&A!#	\$7"T	\$7&\$	\$7\$	\$7\$	\$7\$T	\$7"#	%%7E\$
从湖北(除武汉) 迁入强度 E	_V ^E _{[5HP}	&A!#	\$7E\$	%7!%	\$7\$	\$7\$	\$7\$%	\$7%#	"7TE&
从湖北(除武汉) 迁入强度 T	_V ^T _{[5HP}	&A!#	\$7EE	%7F!	\$7\$	\$7\$	\$7\$"	\$7%&	"7%F
人均可支配 收入\$千元	_3-4;' +<	&A!#	"E7!E	!7F%	#7!!"	#&7AF	"7E&	"A7TT	A!7\$"
人口\$千人	N-<.0+;-)*	&A!#	EA%F	""\$"	#&A	#ET&	"! !&	T&T#	"E\$"A
医疗卫生 支出\$亿元	P;+0:(2d<	&A!#	EF7!F	T77%E	\$7%\$	#E7\$&	"F7EA	TT7F%	E&\$7%\$
医疗机构 床位\$千张	[;D	&A!#	#7TF"	%7!7\$	%7T&	%77F%	#77A#	""7E#	%E77#\$

研究设计

本文在基准回归中 ,采用横截面模型检验一个城市的空气污染强度是否与该城市的新冠患者确诊数 新冠病毒致死病例和疫情持续时间显著相关 " 回归设定如下式(%) 所示:

$$0-C(\% + 5;R;I)=Y_i) = \partial_{\$} + \beta_{\%}^j0-C(Mg_{-i}^j) + ' -*=/-0_i \beta_{\#} + \varepsilon_i , \quad j \in \{\% \# ,'\}$$

(%)

其中 ,因变量5;R;I)=Y_i是城市 i 截至 ##\$ 年 # 月 #& 日的新冠病例累计确诊人数 ! 累计死亡人数 死亡率或疫情持续时长 ,解释变量Mg_{-i}^j是三个不同时间区间城市 i 的日均空气质量指数 " 控制变量 ' -*=/-0_i是其他研究已发现的影响新冠病毒传播和致死率的变量 ,包括温度(!;4)、湿度(O(.)、城内出行强度(H34)) 、

武汉输入人数 (V_{HP})、湖北其他城市输入人数 ($V_{P[SHP]}$)、人均可支配收入 ($\ln Y_{it}$)、人口 (N_{it})、医疗卫生支出 (P_{it}) 和医疗机构床位数 (D_{it})。 α_0 为常数项, β_1^j 是本文核心的待估计系数, $\beta_{\#}$ 是与控制变量对应的系数向量, ε_{it} 为随机误差项。另外, 三个因变量 (累计确诊病例、累计死亡病例、死亡率)、空气质量指数及四个城市宏观变量均进行对数化处理。为更为直观地理解回归系数的经济含义

表 * 横截面回归

N+*;0 M7L-C(%bM33' -*1)/4;D)						
	(%)	(#)	(")	(E)	(T)	(A)
L-C(Mg_%)	\$7"AE *** (#7A\$)	\$7##\$ ^e (%7!")				
L-C(Mg_#)			\$7&!T *** (E7!E)	\$7#\$ (%7%T)		
L-C(Mg_")					%7\$%\$ *** (E7\$A)	\$7%"" (\$7T!)
I;4		\$7\$\$" (\$7"T)		a\$7\$\$\$ (a\$7\$")		a\$7\$\$\$ (a\$7\$T)
O(.		\$7\$## *** ("7!&)		\$7\$## *** ("7A!)		\$7\$## *** ("7FE)
H34)		a\$7%T" (a%7"#)		a\$7%EA (a%7#")		a\$7%!" (a%7%F)
_V _{HP}		\$7"T! *** (T7T%)		\$7"TT *** (T7"A)		\$7"A\$ *** (T7"&)
_V _{P[5HP}		\$7\$## (\$7%%)		\$7\$% (\$7\$E)		\$7\$% (\$7\$A)
L-C(_*3-4; ' +<)		%7"mA *** (T7%#)		%7"E\$ *** (T7%F)		%7"\$F *** (T7%T)
L-C(N-<.0+<)-*)		\$7#!# (%7TA)		\$7"## ^e (%7FT)		\$7"#! ^e (%7F&)
L-C(P;+0=(2d<)		a\$7\$A (a\$7\$F)		a\$7\$"\$ (a\$7"#)		a\$7\$ET (a\$7\$T\$)
L-C([;D)		\$7#" % (%7TT)		\$7#"E (%7T#)		\$7#TE ^e (%7AA)
'_*5<+<=	%7EA" ** (#7"")	aA7TA\$ *** (a"7!\$)	a%7"E# (a%7EA)	aA7FE# *** (a"7AE)	a%7#&% (a%7#\$)	aA7ETA *** (a"7EE)
J>57	#!&	#FA	#!&	#FA	#!&	#FA
MDk7R#	\$7\$%AA	\$7A%A	\$7\$AT#	\$7A%E	\$7\$EAF	\$7A%"
N+*;0 [7 L-C(%bM33?;+<())						
	(%)	(#)	(")	(E)	(T)	(A)
L-C(Mg_%)	\$7%A# *** (#7&E)	\$7%#%# ** (#7\$F)				
L-C(Mg_#)			\$7##\$ *** (#7&&)	\$7\$E% (\$7A\$)		
L-C(Mg_")					\$7#&" *** (#7&&)	\$7\$"! (\$7"A)

续表

N+*,0 [7 L-C(%bM33?;+(-)						
	(%)	(#)	(")	(E)	(T)	(A)
' -*/-0	8-	\ ;5	8-	\ ;5	8-	\ ;5
J>57	#!&	#FA	#!&	#FA	#!&	#FA
MDk7R#	\$7\$#&	\$7"%A	\$7\$#T	\$7"\$!	\$7\$"%	\$7"\$!
N+*,0 '7 L-C(%b?;+(-O+;)						
	(%)	(#)	(")	(E)	(T)	(A)
L-C(Mg_%)	\$7\$A **	\$7\$T				
	(#7%T)	(%7"\$)				
L-C(Mg_#)			\$7\$T	\$7\$#		
			(%7TF)	(\$7E")		
L-C(Mg_")					\$7\$!e	\$7\$T
					(%7FF)	(\$7!")
' -*/-0	8-	\ ;5	8-	\ ;5	8-	\ ;5
J>57	#!&	#FA	#!&	#FA	#!&	#FA
MDk7R#	\$7\$%&	a\$7\$&	\$7\$T	a\$7\$%F	\$7\$%\$	a\$7\$%E
N+*,0 ?7 N;/-D						
	(%)	(#)	(")	(E)	(T)	(A)
L-C(Mg_%)	"7!A\$ ***	E7\$FE ***				
	("7E!)	("7TT)				
L-C(Mg_#)			!7E%" ***	E7##F ***		
			(T7%F)	(#7A&)		
L-C(Mg_")					!7TA" ***	"7AA"e
					(E7#E)	(%7!%)
' -*/-0	8-	\ ;5	8-	\ ;5	8-	\ ;5
J>57	#!&	#FA	#!&	#FA	#!&	#FA
MDk7R#	\$7\$E	\$7EAA	\$7F&	\$7ETA	\$7TT!	\$7EE&

注: *** !** 分别表示在 %K 1K %\$K 水平上显著; 括号内为 t 值, 标准误为怀特稳健标准误 "

为正,且在 %K 的水平上显著 " 表明随着城市空气污染程度的增加,累计确诊病例显著增加 " 在列 (#) 中加入天气、出行和人口流动情况及城市宏观变量等一系列控制变量后, L-C(Mg_%) 前系数仍然保持正向且统计显著 " L-C(Mg_%) 系数为 \$7##, 在 %\$K 的水平上正显著 " 这一结果表明,在其他变量维持在均值水平不变时, Mg_% 每上升 %K, 累计确诊病例就会增加 \$7##K " 如果空气质量指数从级别优 (T\$) 下降至级别良 (%\$), 累计确诊病例将增加 ##K (U (%\$aT\$) \$ T\$f\$7##\$f%\$K), 空气污染大大提高了新冠病毒的传播能力 " 一方面,新冠病毒会附着在空气污染物颗粒上 (: ;=) ;= +07, ##\$), 并有可能形成传播; 另一方面,人们暴露于高污染环境中,身体处于亚健康状态,更容易受到病毒的影响

($[0-3c \cdot D' + 0D; /v \cdot 90 + /3)D.; m+5 \# \$ \$ \&]$)。这两方面因素都可能导致空气污染加剧新冠疫情的蔓延" 在列(E)、(A)中,加入控制变量后, $L-C(Mg_{-}^{\#})$ 和 $L-C(Mg_{-}^{\%})$ 前系数虽不显著,但依然为正" 对比基于 $L-C(Mg_{-}^{\%})$ 的结果,新冠疫情暴发前短期窗口内空气污染对于病毒传染具有更为突出的影响" 空气污染颗粒为病毒传播提供了方便的载体,短期内空气污染加剧疫情蔓延的渠道更为明显" 在随后的面板分析中,也发现短期内空气污染将显著增加感染病例" 控制变量中,从武汉迁入强度(V_{HP})显著为正,与 $W+C$ 等($\# \$ \$ \$$)结论一致,从武汉迁入的人数越多,城市累计确诊病例越多" 人均可支配收入($L-C(_{3-4}; '+<)$)也与累计确诊病例显著正相关,这可能是由于经济较发达地区的空气污染相对严重,人口流动频繁,易于病毒传播"

进一步, $N+^*;0[$ 和 $N+^*;0'$ 分析了空气污染对死亡人数及死亡率的影响" 在我国强有力的疫情防控措施及全国医疗资源全力支持下,各城市的新冠病毒死亡率都得到有效控制" 如前所述,除湖北省以外,超过"SE的城市均无死亡,平均死亡率为 $\$7A"K$ " 在这一样本特征下,空气污染与新冠肺炎致病性关系的显著性可能会受到影响" 根据 $N+^*;0[$ 的结果可知,不论是否加入控制变量, $L-C(Mg_{-}^{\%})$ 前系数均显著为正,表明空气污染不仅加快了新冠病毒扩散传播,还可能使患病之后的病情恶化,增加死亡人数,与海外学者利用意大利数据的发现一致($'- \cdot 3)^*$); $+07 \# \$ \$ \$$)。以列(#)为例,如果空气质量指数从级别优(T\$)下降至级别良(%\$),累计死亡病例将增加 $\%7\#K(U(\% \$ \$ aT\$) \$T\$ f \$7\% \# f \% \$ \$ K)$ 。在 $N+^*;0'$ 中,未加入控制变量时, $L-C(Mg_{-}^{\%})$ 前系数显著为正" 从实际含义来看,当 $Mg_{-}^{\%}$ 从级别优(T\$)下降至级别良(%\$)时,死亡率将增加 $\$7AK(U(\% \$ \$ aT\$) \$T\$ f \$7\$ \$ a f \% \$ \$ K)$ 。考虑到样本平均死亡率为 $\$7A"K$,这一增幅意味着疫情暴发前的空气污染极大增加了新冠病毒对人体的损害,提高了死亡率" 加入控制变量后, $L-C(Mg_{-}^{\%})$ 前系数虽不再显著,但符号依然为正,且数值大小与加入控制变量前变化不大"

$N+^*;0?$ 展示了空气污染对疫情持续时长的影响" 即使在控制其他影响新冠病毒的因素之后,三个空气质量指标前系数依然显著为正,数值大小均在E附近,表明空气污染延长了疫情的持续过程" 从影响程度上来看,以列(#)为例,如果 $Mg_{-}^{\%}$ 从级别优(T\$)下降至级别良(%\$),疫情持续时长将延长 $E(U(\% \$ \$ aT\$) \$T\$ f E7\$FE)$ 天左右" 新冠病毒的蔓延严重阻碍了社会经济运行的正常发展,国内经济在 $\# \$ \$ \$$ 年第一季度基本陷入停滞,大批企业停工停产" 疫情持续时间越久,社会经济损失越严重" 根据国家统计局数据, $\# \$ \$ \$$ 年国内一季度 $@?N$ 同比下降 $A7!K$,改革开放以来首次出现季度同比下降,其中作为疫情#震中\$的武汉市一季度 $@?N$ 同比下降 $E\$K$,表明这场重大公共卫生事件给中国经济带来的损失是极为罕见的" 如果能够通过控制空气污染降低新冠病毒

此类传染疾病的传播能力和致病性,对于防疫控制和维护人民群众生命财产安全都具有重大意义"

4.2 面板回归结果

本文进一步探究在我国疫情暴发期间,一个城市的空气污染程度是否会影响一周后的新增新冠确诊病例和新增死亡病例"许多文献指出,空气污染会在短期内显著增加死亡率!医疗费用支出和降低劳动生产效率(M/3;- ;= +07 , #\$\$A; P)3c5 ;= +07 , #\$\$A; , +*5 ;= +07 , #\$\$! ; ?;/Y.C)*+ ;= +07 , #\$\$&) , 空气污染颗粒会在几天甚至几个小时内渗入呼吸系统,引发呼吸和心血管疾病"本文推测,新冠病毒也会通过空气污染颗粒传播造成更大的伤害"

表 E 展示了根据模型(4)进行回归的结果,所有气象!出行!人口流动及城市宏观变量均已控制,标准误经时间层面聚类调整"根据列(%) 和(4) , L-C(Mg_E) 和L-C(Mg_T) 前系数均为正,且在 10%的水平上显著,表明疫情期间较严重的空气污染同样会加速疫情扩散"换言之,如果一周内日均空气质量Mg_E从级别优(T5)下降至级别良(10%),一周之后的每日新增确诊病例会增加 0.7%K(U(10%at5) ST\$ f\$7\$&# f%\$\$K)。列(6) 和(7) 显示空气污染对新增死亡病例的影响虽然为正但不显著"列(8) 和(9) 还探究了疫情暴发期间空气污染程度对每日死亡率的影响"可以看到,疫情期间空气污染的加重还会显著提高新冠死亡率,当一周内日均空气质量Mg_E从级别优(T5)下降至级别良(10%)时,一周之后的死亡率将增加 0.7%K(U(10%at5) ST\$ f\$7\$&# f%\$\$K)。5(-/D)*C +*D N;5;0(10%) 利用德国数据也得出类似的结论,他们发现过去五天平均的NV%\$ 将显著增加新冠感染人数"根据世界卫生组织(HPJ) 2020 年公布的数据,每年因室外空气污染导致疾病而死亡的人数高达约 700 万人"本文进一步发现,空气污染在短期内会通过加剧新冠病毒的传播和致病性严重威胁到人类健康"因此,在常态化防疫期间,减少空气污染,推进绿色可持续发展,应当是当前我国实现防疫与经济增长双重目标的重要手段"

表 E 面板回归

	L-C(Δb8;Q' - *1)/4;D)		L-C(Δb8;Q?;+(-)		L-C(Δb?;+(-O+;)	
	(%)	(4)	(6)	(7)	(8)	(9)
L-C(Mg _E)	\$7\$&# *** (E7&A)		\$7\$&# (7&E)		\$7\$&# *** (7%A)	
L-C(Mg _T)		\$7\$&# *** (E7&!)		\$7\$&# (7&E)		\$7\$&# *** (E7&!)
' -*/-0	1;5	1;5	1;5	1;5	1;5	1;5
?+; W2	1;5	1;5	1;5	1;5	1;5	1;5

续表

	L-C(%b8;Q' -*1)/4;D)		L-C(%b8;Q?;+:()		L-C(%b?;+:(O+;)	
	(%)	(#)	(")	(E)	(T)	(A)
N/-R)*3; W2	\;5	\;5	\;5	\;5	\;5	\;5
J>57	&A!#	&A!#	&A!%	&A!%	&ATT	&ATT
MDk7R#	\$7E&#	\$7T%"	\$7\$"F	\$7\$EA	\$7\$&%	\$7\$&"

注: *** !**  分别表示在 %K K %\$K 水平上显著; 括号内为 t 值 标准误经过时间层面聚类调整 "

%## 工具变量识别

在本小节 ,我们利用工具变量法解决内生性对我们 JL: 回归系数的潜在影响 " 内生性问题主要包括遗漏变量偏差和反向因果关系 ,由于新冠病毒几乎不会反向影响疫情暴发前 Mg_ 的程度高低 ,因此反向因果关系的干扰较弱 " 本文主要考虑的内生性问题是遗漏变量偏差 ,即新冠病毒传播不仅会受到 Mg_ 程度高低的影响 ,还会受到诸多不可观测的因素的影响 " 例如 ,当地经济发展特征如重工业占比 ,既影响当地空气质量 ,也影响该地新冠疫情严重程度: 一方面 ,重工业占比大的地区不仅空气污染严重 ,其他方面的污染可能也会加剧当地居民抵抗力降低和其他基础病的产生 ,从而增加新冠病毒感染风险和死亡率 ,造成 JL: 回归系数有可能被高估; 另一方面 ,通常来讲 ,工业化程度较高地区其经济也较为发达 ,医疗条件和群众生活卫生条件都较高 ,从而降低新冠病毒感染风险 ,造成 JL: 回归系数有可能被低估 " 为缓解内生性问题带来的估计误差 ,本节将采用#淮河政策 \$和大气逆温这两个工具变量来检验空气污染是否加剧新冠病毒传播和致病性 "

秦岭淮河将中国分为南北两部分 ,中央政府在每年的 %% 月 %T 日至次年 " 月 %T 日之间对淮河以北的城市提供冬季集中供暖的福利 ,称为#淮河政策"。由于冬季供暖是通过锅炉燃烧煤来运行 ,锅炉燃烧将释放空气污染物 ,尤其增加了空气中的总悬浮颗粒 ,这一政策使河流以北城市的空气质量不断恶化 (M04-*D ;= +07 ,#\$&; 李金珂和曹静 #)\$F) ,并在河流两岸(即#河对岸") 城市的空气质量指数方面造成了#不连续性"。此政策仅与地理位置有关 ,并不涉及城市经济发展程度 !工业结构等其他因素 ,除了经由空气污染这一渠道外 ,不会直接影响到新冠疫情 ,满足工具变量的#外生性"。 ' (;* ;= +07(#)\$") 基于秦淮一线 ,运用断点回归(O;C/;55)-* ?)53-*=)*.-Y) 来研究空气污染对预期寿命的因果影响 " L) ;= +07(#)\$&) 和 j .; ;= +07(#)\$)\$) 以#秦淮以北 \$为工具变量 ,分别分析了空气污染对投资者处置效应 !公司人力资本的影响 " 我们采用同样的方法对 Mg_ 与新冠病毒传播和致病性之间的关系进行因果识别 " 此方法可以帮助我们解决遗漏变量对回归系数偏差的影响 ,我们的基本假设认为秦岭淮河南北

的城市 除 Mg_{-} 之外的其他特征没有明显差异 ,由此通过城市所在位置是否在淮河以北作为 Mg_{-} 的工具变量 ,识别 Mg_{-} 对新冠病毒传播影响的因果性关系 " 由于距离秦淮一线较近时 ,南北城市空气质量差异受#淮河政策 \$的影响更大 ,因此 ,在这一部分分析中 ,我们仅包含距离秦淮一线小于 %\$ 纬度的城市① " %\$ 纬度范围近似为 %\$\$\$ 千米 ,秦淮南北 %\$ 纬度范围内包含了#"F 个城市 ,样本具有代表性 "

我们以#城市位于秦淮以北 \$这一虚拟变量作为截面回归中 Mg_{-} , Mg_{-} 和 Mg_{-} 的工具变量 " 表 T 报告了两阶段最小二乘法(#:L:) 第一阶段 F 检验结果和第二阶段估计结果 ,各列模型设定与表 " 中(#) 、(E) 和(A) 列一一对应 " 根据各个 $N+^{*};0$ 最后一行 ,第一阶段回归的 F 检验值均大于 %\$,排除了弱工具变量问题 " 表 T 中三个空气质量指标均与累计确诊 !累计死亡 !死亡率和疫情持续时长之间呈现显著的正相关关系 " 以 Mg_{-} 为例 , Mg_{-} 每增加 %K ,累计确诊病例将增加 %\$F7#K ,累计死亡病例增加 TF7%K ,死亡率增加 #7EK " 如果 Mg_{-} 从级别优(T\$) 下降至级别良(%\$\$) ,疫情持续时间将增加 A 天左右((%\$\$aT\$) ST\$ f A7%FF) 。工具变量回归结果支持了空气污染与新冠疫情影响和致病性之间的作用关系 ,疫情暴发前的空气污染大大增加了新冠病毒造成的伤害 ,延长了疫情的蔓延期间 " 此外 ,与工具变量回归相比 ,JL: 回归系数存在低估 ,这可能是因为 JL: 回归中存在减弱新冠疫情严重程度的遗漏变量 ,例如城市化程度较高的地区经济发展程度较高的同时也有更高的污染程度 ,而综合发展指标可以提高该地区人员的卫生条件和身体素质 " 从统计学和经济学含义上 ,本文验证了空气污染会加剧新冠病毒的传播和致病性 "

表 - 工具变量(淮河政策) 截面回归

	N+^{*};0 M7L-C(%bM33' - *1)/4;D)			N+^{*};0 [7L-C(%bM33? ;+-()		
	(%)	(#)	(")	(E)	(T)	(A)
L-C(Mg_{-}%)	%7\$F#^{**}			\$7TF#^{**}		
	(#7TT)			(#7T%)		
L-C(Mg_{-}#)		#7T&\$^{**}			%7"!\$^{**}	
		(#7#&)			(#7"#)	
L-C(Mg_{-}^{"})			#7#TF^{**}			%7#\$\$^{**}
			(#7EA)			(#7T\$)
' - *:-/0	\ ;5	\ ;5	\ ;5	\ ;5	\ ;5	\ ;5
J>57	#"F	#"F	#"F	#"F	#"F	#"F
F95+:-)5:-)3	TT7#!	%7TTF	"!7#E	TT7#!	%7TTF	"!7#E

① 我们还选择了在秦淮南北的所有城市进行分析 ,工具变量结果依然与基准回归一致 " 由于篇幅所限 ,此结果没有列出 ,如有兴趣可向作者索取 "

续表

	N+*,0 ' 7L-C(%b?;+:(O+;)			N+*,0 ?7N;/)-D		
	(%)	(#)	(")	(E)	(T)	(A)
L-C(Mg_%)	\$7\$#E *** (#7FF)			A7%FF ^e (%7A&)		
L-C(Mg_#)		\$7\$TF ** (#7T%)			%E7&#! (%7A")	
L-C(Mg_")			\$7\$T\$ *** (#7F&)			%"7\$A ^e (%7A&)
'_*=/-0	\;5	\;5	\;5	\;5	\;5	\;5
J>57	#"F	#"F	#"F	#"F	#"F	#"F
W\$=+-)5=)3	TT7#!	%T7TF	"!7#E	TT7#!	%T7TF	"!7#E

注：***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 水平上显著；括号内为 t 值，标准误为怀特稳健标准误。

本文还参考 M/3;- ;= +07(#\$\$A) 、' (; * ;= +07(#\$\$F) 和 j . ; ;= +07(#\$\$) ,选择大气逆温作为面板回归中Mg^E和Mg^T的工具变量 " 一般条件下 ,气温随高度的增加而降低 ,海拔每上升 \$\$\$ 米 ,气温约下降 \$7A 摄氏度 " 在正常天气下 ,近地层空气温度高 ,密度小 ,而高层空气温度低 ,密度大 ,上下空气形成对流 ,可将近地面层空气中的污染颗粒向高空扩散 ,从而减轻城市上空污染程度 " 但当逆温发生时 ,即气温随高度增加而升高时 ,空气无法向上流动 ,污染物聚集在近地面 ,将会加剧大气污染 " 冬季更容易出现逆温 ,且持续较长时间 " M/3;- ;= +07(#\$\$A) 发现逆温发生时 ,空气中 NV%\$ 增加 T7FK ,一氧化碳增加 A7" K " 由于逆温仅与气象条件有关 ,

情将更为严重 " 为检验这一猜测 ,我们分别根据从湖北流入强度 (V_{PI})^① 和城内出行强度的中位数将样本等分为两组 ,进行横截面分组回归 "

表 F 和表 ! 分别报告了累计确诊病例、疫情持续时长对空气污染在各组回归的结果 ,控制变量与表 " 保持一致 " 在表 F N+*;0 M 中 ,在从湖北迁入强度较高的组内 ,空气污染对累计确诊病例的影响均为正 ,且 $L-C(Mg_{\%})$ 对疫情持续时长的影响显著为正 " 如果 $Mg_{\%}$ 从级别优 (T\$) 下降至级别良 (%\$\$) ,累计确诊病例将增加 #FK (U (%\$\$aT\$)) \$T\$ f #7F\$ f %\$\$K) ,疫情持续时长延长 E 天 (U (%\$\$aT\$)) \$T\$ f "7TFE) 左右 ,即这些城市将由于疫情蔓延程度更深、持续时间更长而遭受更为严重的社会损失 " 而在从湖北迁入强度较低的城市中 ,空气污染对累计确诊病例和疫情持续时长的影响均不显著 ,且系数估计值较小 " 空气污染主要作用于有大量外来输入病例的城市中 ,而在输入病例较少的城市 ,本地疫情的传播机率低 ,受空气污染影响也较小 "

表 1 空气污染与累计确诊病例: 分组回归

N+*;0 M7从湖北流入强度分组						
	高 V_{PI}			低 V_{PI}		
	(%)	(#)	(")	(E)	(T)	(A)
L-C($Mg_{\%}$)	\$7#F\$ (%7A")			a\$7\$##A (a\$7%E)		
L-C($Mg_{\#}$)		\$7%#T (\$7EF)			a\$7%&% (a\$7FT)	
L-C($Mg_{\%}$)			\$7\$%\$ (\$7\$")			a\$7"#E (a\$7\$%)
' - * : / - 0	\ ; 5	\ ; 5	\ ; 5	\ ; 5	\ ; 5	\ ; 5
J > 57	% " !	% " !	% " !	% " !	% " !	% " !
MDK7R#	\$7T&%	\$7T!E	\$7T!E	\$7#E&	\$7#T#	\$7#TT
N+*;0 [7出行强度分组						
	高 $H'V_{\%}$			低 $H'V_{\%}$		
	(%)	(#)	(")	(E)	(T)	(A)
L-C($Mg_{\%}$)	\$7E&E ^{***} ("7#%)			a\$7\$"# (a\$7%!)		
L-C($Mg_{\#}$)		\$7FF& ^{***} (#7&\$)			a\$7##A (a\$7&&)	

① 由于 % 月 #E 日武汉实施#封城 \$-之前 ,已有较多病例传播至邻近城市 ,如果某城市有这些武汉邻近城市的人员流入 ,该城市内也有可能发生疫情传播 " 为更好衡量国内其他城市对感染源的暴露 ,我们以湖北迁入强度 (V_{PI}) 为指标来分析交互效应 "

续表

	N+*;0 [7出行强度分组					
	高 H'V_			低 H'V_		
	(%)	(#)	(")	(E)	(T)	(A)
			%7\$F*** ("7EE)			a\$7E!E (a%7A#)
L-C(Mg_")						
'_*/-0	\;5	\;5	\;5	\;5	\;5	\;5
J>57	%"!	%"!	%"!	%"!	%"!	%"!
MDk7H#	\$7A&E	"\$7A%"	\$! \$7A%!	\$7AA\$7A&	\$7AA#	\$7AA!
	N+*;0 '7温度分组					
	高温度			低温度		
	(%)	(\$)	(\$A!	(\$)	(\$)%	(\$)
	\$7EA&e (%7F\$)			\$7\$#F (\$)%E		
L-C(Mg_%)						

续表

N=100 湿度分组						
	高湿度			低湿度		
	(%)	(#)	(")	(E)	(T)	(A)
L-C (Mg ₂)	F1##%*** ("7F%)			"7#"%** (#7%A)		
L-C (Mg ₂)		!7#T! ** (#7TF)			#7AT! (%7E\$)	
L-C (Mg ₂)			%%7TE# *** ("7%A)			%7FE" (\$7F")
' -*/-0	\ ;5	\ ;5	\ ;5	\ ;5	\ ;5	\ ;5
J>57	%"!	%"!	%"!	%"!	%"!	%"!
MDk7R#	\$7"# \$	\$7"\$#	\$7"\$&	\$7T%"	\$7T\$%	\$7E&A

注: *** !** # 分别表示在 %K 1K %\$K 水平上显著; 括号内为 t 值 标准误为怀特稳健标准误 "

根据表 F N=100 [,在城内出行强度较高组内 ,L-C (Mg₂) 、L-C (Mg₂) 和 L-C (Mg₂) 前系数均显著为正 ,且系数大小和显著性均高于表 " 的(#) 、(E) 和 (A) 列 " 根据表 F 列(%) Mg₂ 每上升 %K ,累计确诊病例增加 \$7E&EK ,是全样本中影响程度(表 " 列(#) \$7##\$K) 的两倍多 " 而在城内出行强度较低组内 ,三个空气质量指标均没有对累计确诊病例产生显著影响 " 这一结果表明 ,居家隔离 封闭城市等减少人员出行和接触的公共卫生干预措施卓有成效 ,物理隔离阻断了病毒传播 ,使得空气污染的影响程度也大大下降 " 反之 ,在人员流动密集的情况下 ,空气污染会进一步成为病疫情延的#帮凶" 。类似地 ,在表 ! 的 N=100 M 中 ,对于出行强度较高的城市 ,空气污染显著延长了疫情持续时长 " 如果Mg₂ 从级别优(T\$) 下降

%#' 稳健性分析

在以上分析中,为避免湖北省内~~确诊和死亡~~病例数过高而影响主要结论,均删去了湖北省内城市的观测"考虑到湖北省内疫情暴发更为严重,本文也希望探究空气污染是否会对这些城市内新冠病毒的传播产生影响"在稳健性分析中,我们将湖北省内城市(除武汉之外)的观测加入样本中,进行与表"相同的截面回归!与表E相同的面板回归"

表&的回归结果~~表明~~前述结论依然成立,不论是疫情暴发前还是暴发期间的空气污染~~都会~~对各城市的确诊、死亡和疫情持续时长产生显著正向影响,而且影响程度及显著性均高于表"和表E对应列中的结果"根据表&中 $N^{+*};0M$,在控制变量相同的情况下, $Mg_{-}\%$ 每增加 $\%K$,累计确诊病例增加 $\$7\#FTK$,累计死亡病例增加 $\$7\%K$ 。如果 $Mg_{-}\%$ 从级别优(T\$)下降至级别良(%\$\$),

续表

N+*0 M7截面回归						
	M"7L-C(%b?;+-(O+;)			ME7N;/)-D		
	(%)	(#)	(")	(E)	(T)	(A)
L-C(Mg_#)		\$7\$\$"			T7\$&E ***	
		(\$7A#)			("7#E)	
L-C(Mg_")			\$7\$\$A			E7T&E **
			(%7\$\$)			(#7##)
' -*/-0	\;5	\;5	\;5			
?nP.>.)	\;5	\;5	\;5	##!	##!	##!
J>57	##!	##!	##!	\;5	\;5	\;5
MDk7R#	\$7\$E!	\$7\$E\$	\$7\$E"	\$7E&A	\$7E&%	\$7E!"
N+*0 [7面板回归						
	L-C(%b8;Q' -*1)/4;D)		L-C(%b8;Q?;+-(		L-C(%b?;+-(O+;)	
	(%)	(#)	(")	(E)	(T)	(A)
L-C(Mg_^E)	\$7%ET ***		\$7\$## ***		\$7\$"\$ ***	
	(A7AF)		("7!T)		("7T#)	
L-C(Mg_7)		\$7%AF ***		\$7\$"A ***		\$7\$T ***
		(A7E!)		(A7T\$)		(E7A!)
' -*/-0	\;5	\;5	\;5	\;5	\;5	\;5
?nP.>.)	\;5	\;5	\;5	\;5	\;5	\;5
?+; W2	\;5	\;5	\;5	\;5	\;5	\;5
N/-R)*3; W2	\;5	\;5	\;5	\;5	\;5	\;5
J>57	%%\$%#"	%%\$%#"	%%\$%##	%%\$%##	%%\$%&A	%%\$%&A
MDk7R#	\$7T&"	\$7A%"	\$7E%F	\$7E#F	\$7%\$F	\$7%\$&

注: *** !** * 分别表示在 %K %K %K 水平上显著; 括号内为 t 值 N+*0 M 中标准误为怀特稳健标准误 N+*0 [中标准误经过时间层面聚类调整 "

此外,为验证结论的稳健性,本文也将样本延长至 ### 年 " 月 "% 日,进行实证分析 " ### 年 " 月底,中央指导组宣布以武汉为主战场的全国本土疫情传播基本阻断① " 当传染源被有效管控,传播途径被有效阻断时,空气污染将难以影响新冠病毒的传播 " 基于 " 月底之前的样本进行分析,已经能够充分反映空气污染对疫情传播的影响 " 如果继续延长样本至更长时间,数据中的有效信息增量较小,分析的必要性下降 " 本文发现,当以 " 月 "% 日为分析时点时,横截面回归和面板回归结果依然成立 " 受篇幅所限,相关结果未在正文中报告,读者如有兴趣可向作者索取 "

① 国务院新闻办公室报道: (=<: \$ \$QQ7 53)-7 C-R7 3* \$dQ1>(\$dQ>1>(\$QGI>(\$E#""SE#!%ASXYE#!#\$S ?-3.4;*-*\$FAE!F\$%FAE!F7(-4

& 结论与政策建议

&#" 研究结论

面对突发呼吸道传染病,掌握疾病流行规律,控制传染源和切断传播途径,是疫情防控的关键"。首先,本文发现空气污染会显著影响新冠病毒的传播能力和致病性。疫情暴发前的城市空气污染大幅提高了该地区新冠疫情的严重程度"。在控制了影响新冠病毒致病性的其他因素后,如果空气质量指数从级别优(Mg_UT\$)下降至级别良(Mg_U%\$\$),累计确诊病例将会增加##K,累计死亡病例将增加%%K,疫情持续时长增加E天左右"。空气污染与新冠病毒双重叠加之下,人民生命安全和经济社会发展面临更加严峻的风险与挑战"。

其次,本文发现在疫情蔓延期间,更差的空气质量也会加重该地区的疫情,即使考虑了严格#居家隔离、\$政策下居民出行强度大幅下降,当期较低的空气污染水平不论从统计意义还是经济意义上,都对疫情防控具有显著的促进作用"。再次,本文利用城市所在位置是否在淮河以北及逆温效应作为工具变量,消除了潜在遗漏变量的影响,识别了空气污染导致新冠病毒传播加速和致病性增强的因果关系"。最后,本文发现空气污染对新冠病毒传播能力和蔓延时长的影响集中在高出行强度、高温度和高湿度地区,进一步梳理了人口流动、环境因素与疫情蔓延之间的关系"。研究表明,在人员流动频繁、温度高、湿度大的地区,更要关注空气污染这一影响因素,从强化空气质量管控的角度做好疫情防控工作"。

公共卫生建设事关民生福祉、经济发展、社会稳定、国家安全,是28.1项极其重要而紧迫的战略任务"。本文对空气污染与新冠病毒传播之间作用关系的研究,一方面为加强公共卫生安全建设提供了启示,指出防治污染、践行绿色发展理念是统筹疫情防控和经济社会发展的有效保障;另一方面,本文的分析表明,空气污染程度可以作为预测疫情影响严重程度的一项指标,起到监测预警的作用"。

&#\$ 政策建议

第一,打赢蓝天保卫战始终是打好污染防治攻坚战的重中之重,不仅要解决病理上的#心肺之患",还要切实解决空气污染这一#心肺之患"。

坚持以党的十九大提出#加快生态文明体制改革,建设美丽中国\$为宗旨,加强空气污染治理力度"。这不仅涉及可持续发展这一经济问题,还关系到未来一段时期内我国经济社会生活恢复过程中常态化防疫的效率"。本文基于空气

污染会加剧新冠病毒传播的实证发现,从改善空气污染的角度,结合相关学术研究,提出以下政策建议:一方面,坚持通过科技创新和产业升级来实现环境保护,支持新能源技术产业的发展。新能源技术产业发展不仅符合国家能源战略的发展要求,而且符合科学发展观中经济可持续发展的理念。国家对新能源产业的大力扶持进一步体现我国对全球气候环境的保护,同时充分利用电能可以大幅度减少对进口石油的依赖,对于国家能源安全具有重大意义。另一方面,基于利用秦岭淮河作为分界线的工具变量检验表明,秦岭淮河以北冬季供暖显著拉高这些城市的空气污染水平,因此本文建议各地采取低碳供暖技术,减轻冬季空气污染对居民健康的负面影响,同时可以降低冬季冠状病毒传播的速度和致病性。

第二,在常态化防疫和全球经济衰退的背景下实现全面复工复产,不应以牺牲空气质量和环境保护为代价。

新冠疫情对世界各国经济冲击巨大,我国一季度GDP同比下降2.1%,而全球主要经济体一季度经济均有较大程度的萎缩。目前,我国疫情防控形势持续向好,复工复产有序推进。但在海外疫情未见明显拐点且短期内新冠疫苗难以大范围推广的情况下,我们应当作好这场公共卫生危机可能演变为成长期性和周期性事件的思想准备。考虑到目前全国各行各业复工复产压力较大,部分地区有可能降低对环境保护的重视程度,但我们的研究表明空气污染会加剧新冠病毒传播,在全面推进复工复产的同时,建议:首先,各级政府和环保监管机构应当继续加强空气质量监控和环境保护,以便对未来长期可能发生的疫情反弹做好准备工作;其次,设计激励相容的政策,鼓励企业开展自主研发,优化生产工艺流程和加快发展新型环保产业,提高我国企业参与污染防治攻坚战积极性;最后,在宣传部署常态化防疫工作的同时,加强我国居民环保意识的教育,不以牺牲环境换经济,更加有效地控制疫情传播速度。

第三,在未来完善我国公共卫生应急管理,健全重大疫情监测预警体系建设上,应将空气质量大数据监测纳入整体考量体系。

首先,从硬件和软件两方面加强对全国空气污染检测体系的建设和完善。硬件方面,应当加大空气污染监测基础设施建设,完善各地空气污染监测站的配套设施,利用大数据和物联网技术实现全国空气质量检测与公共卫生风险监测体系的实时联网。软件方面,空气监测是一项专业并且具有技术难度的工作,建议大力培养和吸引环境科学方面的高尖端人才,并且提高相关检测人员的业务能力和专业素质,为自动检测工作的长远发展做好人才储备工作。其次,积极推进全国直辖市、省会城市和计划单列市城市空气质量预报信息联网发布系统项目建设工作。加强空气质量信息披露透明度,通过完善全国重点区域、省(区、市)级、市级空气质量预测预报系统建设以及远程自动化空气污染数据

传输网络,全面开展空气质量预测预报工作;通过全国空气质量预报信息发布平台系统实现全国联网,及时并且准确地披露各地空气质量信息,积极鼓励民营资本参与空气污染防治工作"

参考文献

黄茂兴,林寿富.污染损害 环境管理与经济可持续增长——基于五部门内生经济增长模型的分析[J].经济研究,2008(1): 10-17

P. + C V j , L)* : W7 第 10 卷第 1 期 N-00.3)-* D+4+C; , ; *R)/- *4 ; *+=Tj(0. 67TD(-)Tj 0. 4399998300020TD(4)Tj

小微企业经营数据的分析[1] 清华金融评论 (T): %\$T9%#7

L)+- L, L) N W, \ .+* H, ;= +07 #\$\$\$7 I (; /;3-R;/Y -1 54+00, 4;D).4 +*D 4)3/-
;3-* -4Y . *D;/ =(; ;<)D;4)3% [+5;D -* =(; ++0Y5)5 -1 =(; >.5)*;55 D+=+ -1 4)00)-*5
-1 54+00, 4;D).4 +*D 4)3/- ;*=/<)5;5 [1] *Tsinghua Financial Review*, (T): %\$T9
%#7 ()* '()*;5;)

刘世锦, 韩阳, 王大伟7 #\$\$\$7 基于投入产出架构的新冠肺炎疫情冲击路径分析与
应对政策[1] 管理世界, "A(T): %9%# , T%7

L). : , , P+* \ , H+*C ? H7 #\$\$\$7 M*)4<+3= <+=(+*0Y5)5 -1 ' J6_?9%& -.:=/;+c
) * '()*+ +*D <-0)3Y /;5<-*5; [1] *Management World*, "A(T): %9%# , T%7 ()*
'()*;5;)

潘毅凡7 #\$\$\$7 中国产业二氧化碳排放的因素分解: #\$\$\$% #\$\$\$F [1] 经济学报,
F(#): %"&9%A%7

N+* \ W7 #\$\$\$7 W+3=-/ D;3-4<-5)=-* -1 ' J_ ;4)55)-*) * '()*+)5)*D.5/Y: #\$\$\$%
#\$\$\$F [1] *China Journal of Economics*, F(#): %"&9%A%7 ()* '()*;5;)

邵帅, 李欣, 曹建华, 等7 #\$\$\$7 中国雾霾污染治理的经济政策选择——基于空间溢
出效应的视角[1] 经济研究, T%(&): F"9!7

:(+ - : , L) j , '+- , P , ;= +07 #\$\$\$7 '()*+)5 ;3-* -4)3 <-0)3Y 3(-)3;5 1-/ C-R;/)*C
54-C <-00.)=-* >+5;D -* 5<+)=+0 5<)00-R;/ ;11;3=5 [1] *Economic Research Journal*,
T%(&): F"9!7 ()* '()*;5;)

宋弘, 孙雅洁, 陈登科7 #\$\$\$7 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[1] 管理世界, "T(A): &T9%\$!7

:-*C P , : . * \ , , ' (; * ? Z7 #\$\$\$7 M55;554;* = 1-/ =(; ;11;3= -1 C-R;/)*4;* = +/
<-00.)=-* 3-*=-/0 <-0)3Y: 24<)/)3+0 ;R)D;*3; 1/-4 #0-Q9B+/->-* 3)=Y \$ 3-*5=/3)-*) *
'()*+ [1] *Management World*, "T(A): &T9%\$!7 ()* '()*;5;)

王敏, 黄滢7 #\$\$\$7 中国的环境污染与经济增长[1] 经济学(季刊), %E(#):
TTF9TF!7

H+*C V , P.+*C \ 7 #\$\$\$7 '()*+)5 ;*R)/-*4;* =+0 <-00.)=-* +*D ;3-* -4)3 C/-Q=(
[1] *China Economic Quarterly*, %E(#): TTF9TF!7 ()* '()*;5;)

夏杰长, 丰晓旭7 #\$\$\$7 新冠肺炎疫情对旅游业的冲击与对策[1] 中国流通经济,
"E("): "9%\$7

j)+ , , W;*C j j 7 #\$\$\$7 I (;)4<+3= -1 *-R;0 3/-)*+R)/.5 -.:=/;+c -* =-./54
) *D.5/Y +*D =(; 3-.*=/ 4;+5./;5 [1] *China Business and Market*, "E("): "9%\$7
()* '()*;5;)

杨子晖, 陈雨恬, 张平森7 #\$\$\$7 重大突发公共事件下的宏观经济冲击 | 金融风险传
导与治理应对[1] 管理世界, "A(T): %"9"7

\+*C] P , ' (; * \ I ,](+*C N V7 #\$\$\$7 V+3/-;3-* -4)3 5(-3c , 1)*+*3)+0 /)5c

=/+*54)55)-* +*D C-R;/+*3; /;5<-*5; =- 4+k-/ <.>0)3 ;4;/C;*3);5 [,]7 *Management World* , "A(T) : %"9'T7 () * ' () * ;5;)

祝坤福,高翔,杨翠红,等7 #\$\$7 新冠肺炎疫情对全球生产体系的冲击和我国产业链加速外移的风险分析[,]7 中国科学院院刊, "T(") : #!"9#!17

](. Z W , @+ - j , \+*C ' P , ; = +07 #\$\$7 I (; ' J6_?9%& 5(-3c -* C0->+0 </-D.3=)-* ' (+)*5 +*D /)5c -1 +33;0;/+=;D ' () * +)5) * D.5=/+0 3(+)*5 - .10-Q [,]7 *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences* , "T(") : #!"9#!17 () * ' () * ;5;)

朱武祥,张平,李鹏飞,等7 #\$\$7 疫情冲击下中小微企业困境与政策效率提升——基于两次全国问卷调查的分析[,]7 管理世界, "A(E) : %"9#A7

](. H j ,] (+*C N , L) N W , ; = +07 #\$\$7 W)/4 3/)5)5 , C-R;/+4; * = 5.<<-/- +*D <->)3Y ;1)3);*3Y . *D;/ = (; <)D;4)3 5(-3c: 2R)D;*3; 1/-4 =Q- Q+R;5 -1 G.;5)-**+); - * : V25 [,]7 *Management World* , "A(E) : %"9#A7 () * ' () * ;5;)

M01+/- L , ' (+) M , @/; ; *0+*D M 8 , ; = +07 #\$\$7 MCC/;C+=; +*D 1)/49;R;0 5=-3c /;=. / *5 D./)*C <+*D;4)35 ,) * /;+0 =)4; [O]7 8+=)-*+0 [./;+. -1 23-* -4)3 O;5;+/3 (, H-/c)*C N+<;/ #A&T\$7

M003=- P , [-d;00 L , ' -*Q+Y , , ; = +07 #\$\$7 N-0+/)X+=)-* +*D <.>0)3 (;+0=(: N+/-)5+* D)11;/; *3;5) * 5-3)+0 D)5=+*3)*C D./)*C = (; ' -/-+*R)/.5 <+*D;4)3 [,]7 , -./+*0 -1 N.>0)3 23-* -4)35 , %&% : %\$E#TE7

M04-*D ? , ' (; * \ \ , @/; ; *5=-* ; V , ; = +07 #\$\$\$7 H)*=;/ (; +=)*C -/ 30;+* +)/? ^)*=;*D;D)4<+3=5 -1 ' () * +)5 P.+) O)R;/ <->)3Y [,]7 *American Economic Review* , &&(#) : %!E9%&\$7

M0R+;/X W 2 , M/C;* = ; ? , L)<<) W7 #\$\$7 M 5)4<0; <0+**)*C </->0;4 1-/ ' J6_?9%& 0-3cD-Q* [O]7 8+=)-*+0 [./;+. -1 23-* -4)3 O;5;+/3 (, H-/c)*C N+<;/ #A&!%7

M/3;- 2 , P+**+ O , J0)R+ N7 #\$\$A7 ?-;5=(; ;11;3= -1 <-00.=)-* -*)1+*= 4-/-+0)=Y D)11;/ >;=Q;; * D;R;0-<)*C +*D D;R;0-<;D 3-.*=/);5? 2R)D;*3; 1/-4 V;d)3- ') =Y [,]7 *The Economic Journal* , %A(T&%) : #TF9#!\$7

M=c;5-* M7 #\$\$\$7 H(+ Q)00 >; = (; ;3-* -4)3)4<+3= -1 ' J6_?9%&) * = (; ^ : ? O-.C(;5=)4+=;5 -1 D)5;+5; 53;*+/-)5 [O]7 8+=)-*+0 [./;+. -1 23-* -4)3 O;5;+/3 (, H-/c)*C N+<;/ #A!AF7

[+c;/ : O , [0--4 8 , ?+R)5 : , , ; = +07 #\$\$\$7 ' J6_?9* D.3;D ;3-* -4)3 . *3;/+=)*=Y [O]7 8+=)-*+0 [./;+. -1 23-* -4)3 O;5;+/3 (, H-/c)*C N+<;/ #A&!%7

[+c;/ : O , [0--4 8 , ?+R)5 : , , ; = +07 #\$\$\$7 I (; . * </;3;D;* = ; D 5=-3c 4+/c;= /;+3=)-* =- ' J6_?9%& [,]7 *The Review of Asset Pricing Studies* , %\$(E) : FE#9T!7

[+c;/ : O , W+/-c(*)+ O M , V;Y;/ : , ; = +07 #\$\$\$7 P-Q D-;5 (-.5;(-0D 5<;*D)*C /;5<-*D =- +* ; <)D;4)3? ' -*5.4<=)-* D./)*C = (; #\$\$\$ ' J6_?9%& <+*D;4)3 [O]7 8+=)-*+0 [./;+. -1 23-* -4)3 O;5;+/3 (, H-/c)*C N+<;/ #A&E&7

[+/-)c M H , [;/=/+*D V , ' .00;* [, ;= +07 #\$\$\$ P-Q +/; 54+00 >.5)*;55;5 +Dk.5-)*C =-
 ' J6_?9%&? 2+/0Y ;R)D;*3; 1/-4 + 5./R;Y [O]7 8+)-)*+0 [./;+. -1 23-* -4)3
 O;5;+/3(, H-/c)*C N+<;/ #A&!&7
 [+./D ? , g) j L , 8);05;*9;)*;5 Z , ;= +07 #\$\$\$ O;+0 ;5-)4+;5 -1 4-/=+0)=Y 1-00-Q)*C
 ' J6_?9%&)*1;3=-)*[,]7 I (; L+*3;= _*1;3=-.5 ?)5;+5;5 , #\$(F) : FF"7
 [;33(;=) L , '-*X- @ , '-*X- N , ;= +07 #\$\$\$ ^*D;/5+*D)*C =(; (;=;/-C;*);=Y -1 +DR;/5;
 ' J6_?9%& -.3-4;5: I (; /-0; -1 <-/- G.+0)=Y -1 +)/ +*D 0-3cD-Q* D;3)5)-*5 [O]7
 MR+))0+>0; += ::O8 "TF#TE!7
 [;/C;/ ? H , P;/c;*(-11 Z W , V-*C;Y :7 #\$\$\$ M* :2_O)*1;3=-.5 D)5;+5; 4-D;0 Q)=(
 =;5=)*C +*D 3-*D)=)*+0 G.+/*=)*; [O]7 8+)-)*+0 [./;+. -1 23-* -4)3 O;5;+/3(,
 H-/c)*C N+<;/ #A&\$%7
 [0-3c V L , '+0D;/v*9+0/3)D.;m+5 L7 #\$\$\$ M)/ <-00.=)-*: V;3(+*)545 -1 *;./-)*10+44+)-)*
 +*D '8: D)5;+5; [,]7 Trends in Neurosciences , "#(&) : T\$A9T%7
 [-/k+5 @ , 7 #\$\$\$? ;4-C/+<()3 D;=;/4)*+*5 -1 =;5=)*C)*3)D;*3; +*D ' J6_?9%&)*1;3=-)*5
)* 8;Q \-/c ')=Y *;C(>-/(-D5 [O]7 8+)-)*+0 [./;+. -1 23-* -4)3 O;5;+/3(,
 H-/c)*C N+<;/ #A&T#7
 [/]53;5; @ , L+3;=;/+ 8 , V+3)5 V , ;= +07 #\$\$\$ ' -4<0)+*3; Q)=(' J6_?9%& 5-3)+09
 D)5+*3)*C 4;+5./;5)* _=+0Y: I (; /-0; -1 ;d<;3+)-)*5 +*D D./+)-)* [O]7 '2:)1-
 H-/c)*C N+<;/ 8-7 !%#7
 ' (+*C I , @/+11]R)* , , @/-55 I , ;= +07 #\$\$\$ A7 N+/-)3.0+;= ;<-00.=)-)* +*D =(; </-D.3-)R)=Y -1
 <;+;/ <+3c;/5 [,]7 American Economic Journal: Economic Policy , !(") : %E%9%A&7
 ' (+*C I \ , @/+11]R)* , , @/-55 I , ;= +07 #\$\$\$ I (; ;11;3= -1 <-00.=)-)* -* Q-/c;/
 </-D.3-)R)=Y: 2R)D;*3; 1/-4 3+00 3;*=-;/ Q-/c;/5)* ' ()*+ [,]7 American Economic
 Journal: Applied Economics , %%(%) : %T%9%F#7
 ' (* P g , g)+* H L , H;* g7 #\$\$\$>7 I (;)4<+3= -1 =(; ' J6_?9%& <+*D;4)3 -*
 3-*5.4<=)-*: L;+/*)*C 1/-4)(C(1/G.;*3Y =/+*5+3=)-)* D+=[O]7 MR+))0+>0; +=
 ::O8 "TA!TFE7
 ' (* g , P;] @ , P5);(' I , ;= +07 #\$\$\$ 23-* -4)3 ;11;3=5 -1 0-3cD-Q)* ' ()*+[O]7
 H-/c)*C N+<;/7
 ' (* : , J0)R+ N ,](+*C N7 #\$\$\$ F7 I (; ;11;3= -1 +)/ <-00.=)-)* -* 4)C/+)-)*: 2R)D;*3; 1/-4
 ' ()*+[O]7 8+)-)*+0 [./;+. -1 23-* -4)3 O;5;+/3(, H-/c)*C N+<;/ #E\$"A7
 ' (* \ \ , 2>;*5=;)* M , @/; ;*5=-*; V , ;= +07 #\$\$\$ 7 2R)D;*3; -* =(;)4<+3= -1 5.5+)*;D
 ;d<-5./; =- +)/ <-00.=)-)* -* 0)1; ;d<;3+*3Y 1/-4 ' ()*+)5 P.+)O)R;/ <-0)3Y [,]7
 Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America , %%%
 ("#) : %&#"A9%#&E%7
 ' ()-. L , I.3c;/ ' 7 #\$\$\$:-3)+0 D)5+*3)*C ,)*=;/*;= +33;55 +*D)*;G.+0)=Y [O]7 8+)-)*+0

[./;+. -1 23-* -4)3 O;5;+/3(, H-/c)*C N+<;/ #A&!#7
 '(-Q;00 @ , V)X.4-- Z7 #\$\$7 I(; 'J6_?9& <+*D;4)3)*=(; ^:M: H(+ 4)C(= Q;
 ;d<;3-? [,]7 *The Lancet* , "&T(%\$#" \$) : %\$&"9\$&E7
 '-00;Y , O I , ?-.C0+5 , H [, O;)D ? ?7 %&F"7 O;5<)/+/-/Y D)5;+5;)* Y-. *C +D.0-5:
 _*10.;*3; -1 ;+/OY 3()0D(--D 0-Q;/ /;5<)/+/-/Y =/+3=)00*;55 , 5-3)+0 30+55 , +)/
 <-00.=)-* , +*D 54-c)*C[,]7 *British Medical Journal* , "(T!F") : %&T9%&!7
 '-*-)3)* 2 , W/D;+)* [, '+/- ?7 #\$\$7 ' +* +=4-5<(/)3 <-00.=)-* >; 3-*)D;/;D + 3-9
 1+3=-/) * ;d=;/4;0Y ()C(0;R;0 -1 :MO:9' -69# 0;=+(0)=Y)* 8-/-(/;*_+=0Y? [,]7
 2*R)/-*4;*-+0 N-00.=)-* , #A: %%%EEAT7
 '-/;/)+ : , L.3c : , 6;/*/; 27 #\$\$7 N+*D;4)35 D;</;55 =(; ;3-* -4Y , <.>0)3 (;+0=(
)*=/;R;*)- *5 D- *-=: 2R)D;*3; 1/-4 =(; %&%! 10. [O]7 ::O8 "TA%TA\$7
 ?;3(X0;</w=/; M , O)R;/5 8 , :=+D0;/ [7 #\$\$&7 I(; ;3-* -4)3 3-5= -1 +)/ <-00.=)-*:
 2R)D;*3; 1/-4 2./-<; [O]7 23-* -4)35 ? ;<+/-4;*= H-/c)*C N+<;/5 8-7 %T!E7
 ?;/Y.C)*+ I , P;:=;0 @ , V)00;/ 8 P , ;:= +07 #\$\$&7 I(; 4-/-+0)=Y +*D 4;D)3+0 3-5=5 -1 +)/
 <-00.=)-* : 2R)D;*3; 1/-4 3(+*C;5)* Q)*D D)/;3=)*-*[,]7 *American Economic Review* ,
 %\$&(%\$#) : E%F!9E#%&7
 ?)*C;0 , _ , 8;4+* [7 #\$\$7 P-Q 4+*Y k->5 3+* >; D-*; += (-4;? [O]7 8+)-*+0
 [./;+. -1 23-* -4)3 O;5;+/3(, H-/c)*C N+<;/ #A&E!7
 2)3(;>+.4 V : , O;>;0- : , I/+>+*D= V7 #\$\$7 I(; 4+3/-;3-* -4)35 -1 ;<)D;4)35 [O]7
 8+)-*+0 [./;+. -1 23-* -4)3 O;5;+/3(, H-/c)*C N+<;/ #A&!#7
 W+* 6 \ , , +4)5-* ? I , :.44;/5 L P7 #\$\$A7 I(;)*30.5)R; 3-5= -1 <+*D;4)3)*10.;*X+
 /)5c [O]7 8+)-*+0 [./;+. -1 23-* -4)3 O;5;+/3(, H-/c)*C N+<;/ ##%"F7
 W+*C P V , H+*C L , \+*C \7 #\$\$7 P.4+* 4->)0)=Y /;5-/3)-*5 +*D =(; 5</;+D -1 =(;
 *-R;0 3-/-+*R)/.5 (#\$\$&9*'-6)) * '()*+ [O]7 8+)-*+0 [./;+. -1 23-* -4)3
 O;5;+/3(, H-/c)*C N+<;/ #A&\$A7
 W0;4)*C ? V7 #\$\$\$7 I(; 3-*-/>.)-)* -1)*10.;*X+ =- 3-4>)*;D +3.:=; /;5<)/+/-/Y
)*1;3=)-*5 , (-5<)=+0 +D4)55)-*5 , +*D D;=+(5)* Q)*=;/ [,]7 *Communicable Disease and
 Public Health* , "(%) : "#9"!7
 W-*c;* L Z , j. j , H;)0] V , ;:= +07 #\$\$%7 M)/ <-00.=)-*)4<+)/5 3-C*)=)*- , </-R-c;5
 D;</;55)R;9)c; >;(+R)/-5 +*D +0=;/5 ()<<-3+4<+0 3Y=-c)*; ;d</;55)-* +*D 4-/-<(-0-CY
 [,]7 *Molecular Psychiatry* , %A(%\$) : &!F9&T7
 @-/45;* 8 , , Z-)k;* O : , 7 #\$\$7 '-/-+*R)/.5: _4<+3= -* 5=-3c </)3;5 +*D C/-Q=(
 ;d<;3=+)-*5 [,]7 8+)-*+0 [./;+. -1 23-* -4)3 O;5;+/3(, H-/c)*C N+<;/ #F"!F7
 @.;/)/) 6 , L-/; *X-*) @ , :=/+> L , ;:= +07 #\$\$7 V+3/-;3-* -4)3)4<0)3+)-*5 -1 'J6_?9
 %&: ' +* *C;+R; 5.<<0Y 5(-3c5 3+.5; D;4+*D 5(-/-+C;5? [O]7 8+)-*+0 [./;+. -1
 23-* -4)3 O;5;+/3(, H-/c)*C N+<;/ #A&%!7

$P^{***} O, J_0 R + N_7 \# \$ \% T_7 I (; ; 11; 3 = -1 < -0.0. =) - * - * 0 + > - / 5. < < 0 Y: 2 R) D; * 3; 1 / - 4 + * + = . / + 0$
 $; d < ; / 4; * =) * V; d) 3 - ') = Y [,] \uparrow$ *Journal of Public Economics* , % ## : A! 9 & \uparrow
 $P + 55 + * I M , P - 00 + * D; / : , R + * L; * = L , ; = + 07 \# \$ \$ \$ W) / 4 9; R; 0 ; d < - 5. /; = - ; <) D; 4) 3$
 $D) 5; + 5; 5: ' - R) D 9 \% & , : MO: , + * D P \% 8 \% [O] \uparrow 8 + =) - * + 0 [. /; + . - 1 23 - * - 4) 3 O; 5; + / 3 (,$
 $H - / c) * C N + < ; / \# A \& F \% 7$
 $P) 3 c 5 ? L , V + / 5 (N , J_0 R + N_7 \# \$ \% A_7 M) / < - 0.0. =) - * + * D < / - 3 Y 3 0) 3 + 0 4 - / = + 0) = Y: ' + . 5 + 0$
 $; R) D; * 3; 1 / - 4 = (; / 4 + 0) * R; / 5) - * 5 [,] \uparrow 8 [2 O H - / c) * C N + < ; / 7$
 $P - * C P , H + * C 8 , \backslash + * C , \uparrow \# \$ \$ \$ V) =) C + =) * C ' J 6 _ ? 9 \% & / 5 c 5 = - 5. 5 = +) * C / - Q = ([O] \uparrow$
 $H - / c) * C < + < ; / 7$
 $P . + * C \backslash , H + * C N , ' (; * L , ; = + 07 \# \$ \$ \$ N + * D; 4) 3 + * D < + *) 3 [O] \uparrow M 5) + * [. /; + . - 1$
 $W) * + * 3; + * D 23 - * - 4) 3 O; 5; + / 3 (\uparrow$
 $_ 5 < (- / D) * C _ 2 , N; 5 = ; 0 87 \# \$ \% \# 7 N + * D; 4) 3 4; ; = 5 < - 0.0. =) - * : N - - / +) / G . + 0) = Y) * 3 / ; + 5; 5$
 $D; + = (5 > Y ' J 6 _ ? 9 \% & [,] \uparrow$ *Journal of Environmental Economics and Management* ,
 $\% \$! : \% \$ \# E E ! \uparrow$
 $, + * 5 , , , - (+ * 55 - * N , 8) 055 - * , N_7 \# \$ \% ! \uparrow 23 - * - 4) 3 5 = + = . 5 , +) / G . + 0) = Y , + * D 3 () 0 D (; + 0 = (:$
 $2 R) D; * 3; 1 / - 4) * R; / 5) - * ; <) 5 - D; 5 [,] \uparrow$ *Journal of Health Economics* , A% : ## \$ 9 # " # \uparrow
 $, - * ; 5 ' , , N () 0 < - * I , 6 ; * C + = ; 5 Q + / + * 67 \# \$ \$ \$ J < =) 4 + 0 4) =) C + =) - * < - 0) 3) 5) \uparrow + \neq 7 *$

::O8 "TA" T&F7
 L-C+* H N ?7 %&T"7 V-/+0)=Y) * =(; L-*D-* 1-C) * 3)D ; * = , %&T# [,]7 *The Lancet* ,
 #A%(AFTT) : ""A9"" !7
 L.DR)C5-* : ' , V+ : , 8C :7 #\$\$7 ' -R)D%& +*D =(; 4+3/-;3-* -4)3 ;11;3=5 -1 3-5=0Y
 D)5+5=;5 [O]7 8 [2O H-/c)*C N+<;/7
 L.- , g , ? . N , , :+4+= M , ; = +07 #\$\$7 :<+)= -; 4<-/+0 <+== ;/* -1 NV_{#IT} 3-*3 ; * = / + = -) * 5) *
 4+)*0+*D ' () * + * + D + * + 0Y5)5 -1) = 5) * 10 . ; * 3) * C 1+3=-/5 .5) * C C ; -C / + < () 3+00Y Q ;) C (; ; D
 / ; C / ; 55) - * [,]7 *Scientific Reports* , F (%) : E\$A\$F7
 V-(+) N , ZQ ; - * [: , L ; ; : , ; = +07 #\$\$%7 M) / <-00.=) - * + / - . * D 53 (--05) 5 0) * C ; D = - < - / ; /
 5=.D ; * = (; +0= (+ * D + 3+D ; 4)3 < ; / 1 - / 4 + * 3 ; [,]7 *Health Affairs* , " \$(T) : !T#9!A#7
 J * D ; / @ , O ; XX+ @ , [/ . 5+1 ; / - : 7 #\$\$7 ' +5 ; 9 + = + 0) = Y / + = ; + * D 3 (+ / + 3 = ; / 5) 35 -1 < + = ; * = 5
 DY) * C) * / ; 0 + = - * = - ' J6_?9&) * _ = + 0Y [,]7 *JAMA* , "# " (% !) : %FFT9%FFA7
 N+ = (+ c N M , : { * 4 ; X I , | * R ; / V ^ , ; = +07 #\$\$7 I /) + C ; < / - = - 3 - 0 D ; 5) * C 1 - / R ; * =) 0 + = - /
 / + = - *) * C) * + < + * D ; 4)3 : _ * = ; C / + =) * C 4 . 0 = < 0 ; ; = () 3 + 0 R + 0 . ; 5 = (/ - . C (/ ; 5 ; / R ; 5 [O] 7
 8 + =) - * + 0 [. / ; + . -1 23 - * - 4)3 O ; 5 ; + / 3 (7
 N - < ; ' M _ 7 %&!&7 O ; 5 <) / + = - / Y D)5 ; + 5 ; + 55 - 3) + = ; D Q) = (3 - 4 4 . *) = Y +) / < - 00 . =) - * + * D +
 5 = ; ; 0 4) 00 , ^ = + (6 + 00 ; Y [,]7 *American Journal of Public Health* , F & (T) : A# " 9 # ! 7
 N - < ; ' M _ , [. / ; = O I , I (. * V , , ; = +07 #\$\$7 L . * C 3 + * 3 ; / , 3 + / D) - < . 0 4 - * + / Y
 4 - / = + 0) = Y , + * D 0 - * C 9 ; / 4 ; d < - 5 . / ; = - 1) * ; < + / =) 3 . 0 + = ; +) / < - 00 . =) - * [,]7 *JAMA* ,
 # ! F (&) : % % " # 9 % % E % 7
 N - < ; ' M _ , P + * 5 ; * , ' , Z . < / - R O , ; = +07 #\$\$%7 6 + 53 . 0 + / 1 . * 3 =) - * + * D 5 (- / = 9 ; / 4
 ; d < - 5 . / ; = - 1) * ; < + / =) 3 . 0 + = ; +) / < - 00 . =) - * [,]7 *Journal of the Air & Waste Management Association* , A % (!) : ! T ! 9 ! A " 7
 O - ; 4 ; / H , P - ; c @ , [/ . * ; c / ; 1 [7 %&&"7 211 ; 3 = - 1 + 4 >) ; * = Q) * = ; / +) / < - 00 . =) - * - *
 / ; 5 <) / + = - / Y (; + 0 = (- 1 3 () 0 D / ; * Q) = (3 (/ - *) 3 / ; 5 <) / + = - / Y 5Y4 < = - 45 [,]7 *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* , %EF (%) : % % ! 9 # E 7
 O . P , \ + * C 2 ? ,] - . Z O 7 #\$\$7 H (+ = D - Q ; 0 ; + / * 1 / - 4 : MO : 9 ' - 69 % = - : MO : 9 ' - 69 # :
 2R)D ; * 3 ; 1 / - 4 C0 - > + 0 5 = - 3c 4 + / c ; = 5 [O]7 MR+) 0 + > 0 ; + = : : O8 "TA&" " \$ 7
 ; ; =) L , N + 55 + /) *) W , ? ; @ ; * + / - @ , ; = +07 #\$\$7 : MO : 9 ' - R9 # O8 M 1 - . * D - * < + / =) 3 . 0 + = ;
 4 + = ; / - 1 [; / C + 4 -) * 8 - / = (; / * _ = + 0Y : W) / 5 = ; R)D ; * 3 ; [,]7 *Environmental Research* ,
 % ! ! : % \$ & F T E 7
 : = - 3c , P 7 #\$\$7 ? + = C + < 5 + * D =(; < - 0) 3Y / ; 5 < - * 5 ; = - =(; * - R ; 0 3 - / - * + R) / . 5 [O]7 8 + =) - * + 0
 [. / ; + . -1 23 - * - 4)3 O ; 5 ; + / 3 (, H - / c) * C N+<; / #A&\$#7
 I (; 2 . / - Q) * = ; / @ / - . < 7 %&&F7 ' - 0D ; d < - 5 . / ; + * D Q) * = ; / 4 - / = + 0) = Y 1 / - 4) 53 (+ ; 4)3 (; + / =
 D)5 ; + 5 ; , 3 ; / ; > / - R + 53 . 0 + / D)5 ; + 5 ; , / ; 5 <) / + = - / Y D)5 ; + 5 ; , + * D + 00 3 + . 5 ; 5) * Q + / 4 + * D
 3 - 0D / ; C) - * 5 - 1 2 . / - < ; [,]7 *The Lancet* , " E & (& \$ A #) : % " E % 9 % " E A 7

H+*C , \ , I+*C Z , W;*C Z , ;= +07 #\$\$\$+7 H(;*)5 =(; ' J6_?9& <+*D;4)3 -R;/? 2R)D;*3; 1/-4 =(; 5=+Y9=9(-4; <-0)3Y ;d;3.-)* %SA '()*;*5; 3)=;5 [O]7 MR+)0+>0; += ::O8 "TA%E&%7

H+*C , \ , I+*C Z , W;*C Z , ;= +07 #\$\$\$>7 _4<+3= -1=;4<;/+=-./; +*D /;0+=)R; (.4)D)=Y -* =(; =/+*54)55)-* -1 ' J6_?9&: M 4-D;0)*C 5=.DY)* '()*+ +*D =(; ^*)=;D :=+=;5 [O]7 ::O8 "TT%FAF7

H;.R; , , N.;= O ' , :3(Q+/-X , , ;= +07 #\$\$\$#7 2d<-5./; =- <+/-)3.0+=; +)/ <-00.=)-* +*D 3-C*)=)R; D;30)*;)* -0D;/ Q-4;* [,]7 *Archives of Internal Medicine* , %F#(") : #%%&9##F7

H. j , 8;=(;/Y O ' , :+>+=(V [, ;= +07 #\$\$\$#7 M)/ <-00.=)-* +*D ' J6_?9& 4-/-+=)Y)* =(; ^*)=;D :=+=;5: =:/;*C=(5 +*D 0)4)=+)-*5 -1 +* ;3-0-C)3+0 /;C/;55)-* ++*0Y5)5 [,]7 *Science advances* , A(ET) : ;+>DE\$E&7

j)+- Z O7 #\$\$\$#7 :+R)*C 0)R;5 R;/5.5 5+R)*C 0)R;0)((-D5: ' +* >)C D+=+ =;3(*-0-CY 5-0R; =(; <+*D;4)3 D)0;44+? [V]\$\$_4<+3= -1 ' J6_?9& -* M5)+* 23-*4);5 +*D N-0)3Y O;5<-*5;57 H-/0D :3);*=)1)3 N.>0)5()*C , %&9#E7

j. ; : \ ,](+*C [P ,](+ j W7 #\$\$\$#7 [/+)* D/+)*: I(;)4<+3= -1 +)/ <-00.=)-* -* 1)/4 <;/1-4+*3; [O]7 MR+)0+>0; += ::O8 "E&\$"EE7

\+*C , ,](+*C [7 #\$\$\$!7 M)/ <-00.=)-* +*D (; +0=(3+/- ;d<;*D)=./; : _4<0)3+=)-* 1-/- =(; >;*1)= -1 +)/ <-00.=)-* 3-*=-/0)* '()*+ [,]7 *Environment International* , %#\$: EE"9ETT7

](+*C P W , H+*C] P ,](+*C H]7 #\$\$\$A7 2d<0-/) *C 5<+)= -; 4<-/-+0 <+==; /*5 -1 NV_{#T})* '()*+ >+5;D -* C/-.*D9;R;0 ->5;/R+=)-*5 1- / %&\$ 3)=;5 [,]7 *Environmental Pollution* , #A: TT&9TAF7

](-. W , \. I , ? . O P , ;= +07 #\$\$\$#7 '0)*3+0 3-./5; +*D /)5c 1+3=-/5 1- / 4-/-+=)Y -1 +D.0=)*<+)=;*5 Q)=(' J6_?9&)* H.(+* , '()*+ : M /;=-/5<;3)=R; 3-(-/- 5=.DY [,]7 *The Lancet* , "&T(%\$\$\$&) : %\$TE9\$A#7

N<5G 36? /<EEL;6<A 3==5:; ;45 #?9AG 7 6GG6<A <= K\$XDNT!%?
BM6J5A:5 =?< 7 K46A9

](.- '(:*% Z;G) '(:*% ,); L)#

(%. PBC School of Finance , Tsinghua University;

#. Shanghai Advanced Institute of Finance , Shanghai Jiao Tong University)

3PG;?9:; ^*D;/5=+*D)*C =(; =/+*54)55)-* -1 'J6_?9%&)5 3/)3+0 1-/ =(;
;11;3>R;*;55 -1 /;C.0+/ R)/.5 </;R;*=-*7 [Y ;d<0-)=)*C D+=+ 1/-4 #!& 3)=;5)* '()*+ ,Q;
)*R;5>C+=; =(;)*10.;*3; -1 +)/ <-00.=)-* -* =(; =/+*54)55)-* -1 'J6_?9%&7 H; 1)*D =(+=
=(; 3(+*C;)*(; +R;/+C; </;9.=>/;+C +)/ G.+0)=Y 1/-4 C--D =- 4-D;/+=;)*3;/+5;5 =(;
)*1;3>)* 3+5;5 >Y ##K , =(; D;+=(3+5;5 >Y %%%7#K , +*D =(; ;<)D;4)3 D./+=)-* 1-/ 1-./
D+Y57 :(-/=9;/4 +)/ <-00.=)-* Q-/5;*5 'J6_?9%& 5;R;/)=Y 4-/; 5)C*)1)3+*=0Y)*(; *;d=
Q;;c7 l(;)4<+3= -1 +)/ <-00.=)-* -* 'J6_?9%& =/+*54)55)-*)5 4-/; </-4)*;*=- 1-/ 3)=;5
Q)=()C(;/ Q)=()*98)=Y 4-R;4;*5 ,)C(;/ =;4<;/+=./; , +*D)C(;/ (.4)D)=Y7 IQ-
)*5=/.4;*+=0 R+)+>0;5 +/;)*=/-D.3;D =- ;5=+>0)5(=(; 3+.5+0 /;0+=)-* >;=Q;;* +)/ <-00.=)-*
+*D R)/.5 =/+*54)55)-*7 J./ 1)*D)*C5)4<0Y =(+= 5=;/;*C=(;)*C ;3-0-C)3+0 ;*R)/-*4;*=
</-;3>)* 5)*(; Q)=(=(; C;*;/+0 /;G.)/;4;*5 -1 ;<)D;4)3 </;R;*=-* +*D =(.5
</-4=-;5 =(;)C(98.+0)=Y D;R;0-<4;*=- -1 <.>0)3 (;+0=(+*D 5-3)+0 ;3-* -4Y7

QBR KE9GG6=6:9;6<A _%! , gT" , gTA