



东北财经大学
DONGBEI UNIVERSITY OF FINANCE & ECONOMICS

计量经济学前沿方法研讨会
暨第八届Stata中国用户大会

清洁能源发展的健康效应—以西气东输工程为例

王维国

● 2024. 8. 19 于南开大学

北京友万信息科技有限公司
www.uone-tech.cn

目录

Contents

01

引言

02

文献综述与研究假说

03

数据、变量与研究设计

04

实证分析

05

进一步分析

06

结论与启示

北京友万信德科技有限公司
www.uone-tech.cn

一、引言

北京友万信息科技有限公司
www.uone-tech.cn

引言

□ 二十大报告提出，**推进健康中国建设是增进民生福祉，提高人民生活品质的重要举措。**

- **健康是人类发展永恒的主题，它既是发展的条件，又是发展的目标。**联合国将健康作为人类发展指数的三大构成要素之首。党和国家也历来高度重视人民健康。
- 2019年6月25日，国务院印发了《关于实施**健康中国行动**的意见》，并发布《健康中国行动（2019—2030年）》。
- 习近平总书记在全国卫生与健康大会指出：“**良好的生态环境是人类生存与健康的基础**”。
- 截至2022年，我国人均预期寿命提高至77.93岁，健康中国行动取得阶段性成效。这不仅依靠医疗保障的不断完善，还**得益于我国环境质量的持续向好**。

引言

- 党的十八大以来，习近平总书记提出“**四个革命、一个合作**”。即推动能源消费革命、能源供给革命、能源技术革命、能源体制革命，加强全方位国际合作。二十大强调，“**深入推进能源革命**”“**加快规划建设新型能源体系**”。
 - 推动能源革命离不开能源供给侧结构性变革，**西气东输所代表的清洁能源发展则是实现能源革命的重要途径。**
 - **清洁能源发展作为降低污染排放和改善生态环境的重要途径**，有助于建立能源低碳转型的长效机制，培育绿色增长的内生动力。
- 如何解决能源消费所带来的环境污染和公众健康之间的矛盾，是经济社会发展面临的重要挑战，而**清洁能源发展则为此提供了一个可行的治理路径。**

引言

□ 主要研究内容

- 首先，分析清洁能源发展可能会对个人健康水平产生何种影响，得出影响效果和作用机制。
- 其次，利用**实证分析**进行验证，这部分主要分为四方面进行探讨，包括基准回归、渠道分析、选择效应讨论和进一步分析。
- 最后，结合实证检验的结果，得出**研究结论**，并对应得出**政策启示**。

□ 主要发现

- 西气东输工程产生了**健康效应**，主要体现在**城市居民和老年人群体**，且**家庭用能结构改善、企业污染减排、城市环境质量提升**是主要作用渠道。进一步分析表明，“煤改气”政策有助于增强工程的健康效应。福利分析显示，该工程**降低了个人及城市医疗支出**，并促进了当地就业。

边际贡献

- 首先，本文**从基础设施角度增进了能源转型效果评估的经验研究**。近年来，关于能源转型的文献更多从能源强度和能源效率角度出发，主要在关注单一维度的能源转型路径（范英和衣博文，2021）、以及经济和环境绩效等方面（徐斌等，2019）。而关于重大工程实施效果的考察，尤其是对公众健康的影响还未有充分关注。本文**较早通过对西气东输工程进行健康效益评估，拓展了发展经济学研究领域**。
- 其次，本文**从研究内容和视角方面丰富了健康经济学相关文献**。从研究内容上，本文从微观层面评估西气东输工程如何通过优化家庭用能结构、减少企业污染排放、改善城市环境绩效，降低因空气污染导致的发病率，进而丰富了公众健康影响因素相关研究。从研究视角上，能源冲击的研究多集中在发达国家（Cesur等，2017；Adhvaryu等，2023），而本文基于个人层面数据，考察中国能源转型所带来的健康效益。作为世界上最大的能源消耗国和人口第一大国，**中国清洁能源发展及人口健康在全世界都具有重要意义**。
- 最后，本文**补充了重大工程建设正外部性和社会效益讨论不足**。由于工程设施正外部性受益范围难以界定，现有研究对于工程项目的考察多关注于经济效应（王庶和岳希明，2017；王剑程等，2020；陈海山和汪阳，2022；亢延锟等，2023），而本研究则借助西气东输工程主干线管网来确定覆盖范围，为全面评估基础设施的社会效益提供了有益启示，并**证实了西气东输工程在推进健康中国战略中的历史意义和实践价值**。

二、研究背景与文献综述

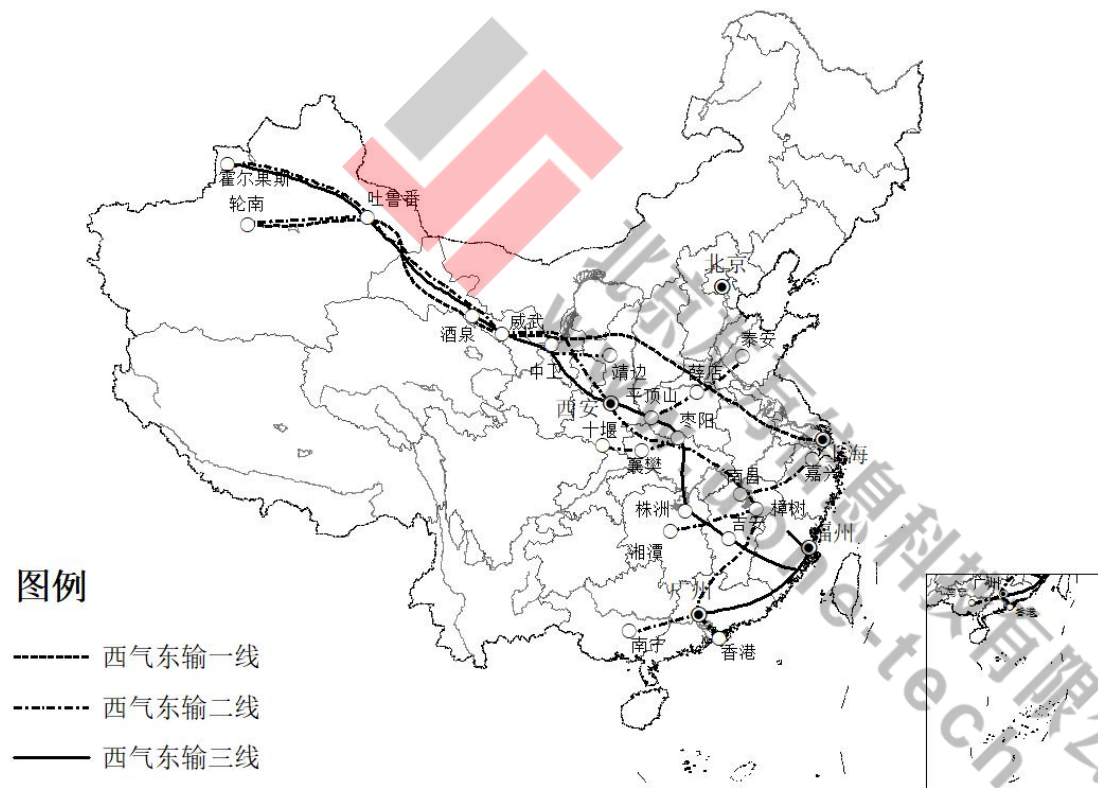
北京友万信息科技有限公司
www.uone-tech.cn

项目背景

- **项目成因**：改革开放以来，我国工业快速发展，产生了巨大的能源需求。但我国**以煤炭为主的能源禀赋**，使得**能源供给结构并不合理**。推动清洁能源发展，已成为解决经济增长与环境及健康问题之间矛盾的重要路径。
- **项目批准**：在此背景下，我国积极探索多种能源替代煤炭投入使用，**天然气作为优质清洁能源**，逐渐成为煤炭的**重要替代能源**。国家发改委于2000年2月在第一次会议上批准启动“西气东输”工程。
- **项目介绍**：西气东输工程目前已开工四期，一线工程从**新疆到上海**，全程4200公里。二线工程**西起霍尔果斯市，南至广州市及香港，东到上海**，总长9102公里，含一条主干线和八条支线，是目前世界上线路最长，覆盖面积最广、受益人口最多的天然气管道。三线工程路线从**新疆到福建**，全长超7000公里。四线工程管道由新疆到宁夏，目前仍在建设中。
- **项目现状**：截止2022年底，西气东输工程**总里程超2万千米**，**年输气量超1000亿立方米**，带来的天然气供应我国西部、长三角、珠三角、华中及中原地区的**400多个城市**，**3000多家大中型企业和约5亿人口**。其中，二线工程设计年输气量为300亿立方米，促使天然气在一次能源中消费占比提高1%-2%，每年可减少1.3亿吨二氧化碳、144万吨二氧化硫、66万吨粉尘、36万吨氮氧化物。

项目背景

●西气东输项目示意图



已完工前三期项目示意图，作者参考《中国天然气管道分布图》(2022)，利用Arcgis10.8绘制



西气东输二线示意图，数据来源于新华社

文献综述（能源转型、健康的影响因素、能源使用对健康的影响）

□ 能源转型

- **能源转型是指能源供给侧的结构变革（范英和衣博文，2021），既有能源转型相关文献大多关注于转型路径和转型效果两方面。**
- 一方面，从**转型路径**来看，已有研究对能源转型的动力机制已有较多讨论，主要可以归纳为政策因素、经济因素、能源因素和环境因素四种驱动力，具体表现为政策干预（张希良等，2022）、金融发展和收入增长（马丽梅和黄崇乐，2022；吴施美和郑新业，2022；Rema和Oliva，2015）、能源价格变化和补贴（沈小波等，2021；Helm等，2021）、公众环保意识（Duan等，2023；Koichiro等，2018）等形式，而鲜有研究关注以西气东输为背景的重大基础设施建设所推动的能源转型。
- 另一方面，从**转型效果**来看，现有研究多关注于对经济增长（徐斌等，2019），环境质量改善（Joseph，2013；Kevin等，2015；Harrison等，2021），福利效应（Allcott和Kessler，2019）等方面的影响，却忽视了在健康方面所产生的正外部性收益。

基于此，本文关注于西气东输这一超大型能源跨区域调配工程，检验清洁能源发展所带来的健康外部性及影响路径，**为重大基础设施的社会效益提供了经验证据。**

文献综述（能源转型、健康的影响因素、能源使用对健康的影响）

□ 健康的影响因素

- 已有研究多从**公共政策**角度探讨公众健康的影响因素，但近年来**制度变革**、**社会保障**和**个人行为**方面的影响也逐渐受到关注。
- 首先，从**公共政策**方面来看，发现“双控区”环境规制（谢强和封进，2023）、“大气十条”环境政策（范丹等，2021）、农业税改革（田坤等，2022）等均有助于提升居民健康水平。
- 其次，从**制度变革**的角度来看，张明昂（2021）和Fan等（2020）的研究均发现中国加入WTO会提高生病概率。
- 再次，从**社会保障**的角度来看，大多认为社区养老（贾凯冬等，2023）、养老保险制度（李琴等，2021）和卫生支出结构（王树森和杨澄宇，2023）等公共服务保障水平的改善能够提升居民健康。
- 最后，从**个人行为**的角度来看，饮酒会对居民健康产生不利影响（行伟波等，2021），而自我雇佣则会产生正向影响（赵建国和周德水，2021）。

总体而言，关于健康影响因素的研究已较为丰富，但从**基础设施建设的角度的考察还有待拓展**，因而本文以西气东输为切入点对此进行了补充。

文献综述（能源转型、健康的影响因素、能源使用对健康的影响）

□ 能源使用对健康的影响

- 经济的发展离不开能源消耗，而化石能源过度使用所产生的空气污染问题会影响居民健康，现有许多研究考察了化石能源消费对于健康影响，基本认为非清洁型化石能源会损害身体健康。
- 如Duque等（2022）发现了燃煤电厂增加使用煤炭会降低学生健康水平。但也有文献发现在石油开采过程中，作为副产品的天然气通过燃除会对健康产生不利影响（Blundell和Kokoza, 2022）。
- 而与本文较为相关文献包括Adhvaryu等（2023）的研究发现哥伦比亚为增加火电产量而使用污染能源，会增加呼吸系统及心血管系统发病率。Cesur等（2017）发现土耳其天然气基础设施的扩建降低了婴儿死亡率。Gupta和Spears（2017）基于印度的数据发现距离燃煤电厂越近，所产生的污染暴露会损害居民呼吸系统健康。而在印度推广清洁烹饪燃料，则会改善女性健康状况（Imelda, 2023）。

上述研究多集中在发达国家，这些结论是否符合中国发展的现实还需进一步探讨，尤其是中国作为目前世界上最大的能源消耗国，和人口总量最多的国家，中国清洁能源发展对于全球污染减排和居民健康水平提升都具有重要意义。

三、数据、变量与研究设计

北京友万信息科技有限公司
www.uone-tech.cn

数据说明

- **个体及家庭层面数据**：中国健康与营养调查（CHNS），目前共收集了1989年至2015年期间共十次调查数据，包含15个省份，覆盖**个人、家庭、社区**三个层面，涉及个人健康状况、人口和社会经济特征等多个维度。该数据不仅包含详细的个人特征数据，如年龄、性别、收入等，还拥有更丰富和详细的健康数据，包括哮喘病、心血管疾病、脑血管疾病等，而且对于个人疾病状况的评价也较为客观，这在健康经济学中得到了广泛的应用(Fan等, 2020; 谢强和封进, 2023)。
- **企业层面数据**（机制检验使用）：中国工业企业数据库，中国工业污染源重点调查企业污染排放数据。
- **城市层面数据**：《中国县域统计年鉴》、《中国城市统计年鉴》。
- **样本年份**：在实证分析中，本文使用了**2006年、2009年、2011年和2015年共四次调查样本**，主要原因在于：为了避免2006年之前的能源及环保政策对研究结论的干扰（如2005年公布的《中华人民共和国可再生能源法》），从而决定了样本的起始年份，而当前CHNS调查样本公布终止年份为2015年。

识别策略

- 参考Imelda等（2020），本文将西气东输二线工程投产运营视作准自然实验，采用双重分法进行识别：

$$Y_{i,c,t} = \alpha + \beta \cdot WEGT_Post_{c,t} + \gamma Control_{i,c,t} + \delta_c + \tau_t + \varepsilon_{i,t}$$

- 式中，下标*i*，*c*，*t*分别表示个人、城市和年份。 $Y_{i,c,t}$ 为个体健康状况指标。 $WEGT_Post$ 是本文的核心解释变量，代表西气东输二线工程的影响， $WEGT$ 表示地区是否属于西气东输二线工程节点城市， $Post$ 表示是否处于工程投产运营之后。 $Control$ 为一组控制变量，包含个人，家庭及地区三个层面特征变量。处理组的划分处于城市层面，故添加城市固定效应 δ_c 。 τ_t 为年份固定效应， $\varepsilon_{i,t}$ 为随机误差项。同时，本文将标准误聚类到城市维度。根据研究假说，我们**重点关注** $WEGT_Post$ 的系数，并预期为负，即西气东输项目能够降低当地居民患病率。

变量定义

- **1.被解释变量**：健康状况。本文在基准回归中选择具有较为全面样本数据的“过去四周是否患病”作为衡量居民健康的主要指标。选取因空气污染而导致呼吸系统疾病和心血管疾病作为替代指标进行稳健性分析。其中，呼吸系统疾病包括CHNS中是否“诊断为哮喘病”，以及“过去12个月中是否发生气喘或呼吸不畅”。心血管疾病包括CHNS中是否“诊断为心肌梗塞”、是否“诊断为高血压”和是否“诊断为中风”。
- **2.解释变量**：本文核心解释变量为当地是否处于西气东输（west-east gas transmission）二线工程投产后的节点城市上。参考中国燃气行业编辑部出版的《中国天然气管道分布图2013》，以及各地级市官网公告信息，交叉补充认定西气东输二线工程沿线节点城市，并进一步设置了当地是否处于西气东输二线工程节点城市与工程投产时点的交互项（WEGT_Post）。
- **3.控制变量**：在参考已有文献的基础上（谢强和封进，2023；Adhvaryu等，2023），本文控制了个人、家庭和城市三个维度的相关变量。其中，个人层面控制变量包括：年龄（age）、性别（gender）、受教育程度（edu）、婚姻状况（marry）、个人职业性质（work）、医保状况（insure）、户籍属性（domicile）、健康状况（bmi）。家庭层面控制变量包括：家庭规模（people）、家庭人均收入（income）。城市层面控制变量包括：城市规模（scale）、病床数（bed）。

变量描述性统计

变量	定义	观测值	平均值	标准差	观测值	平均值	标准差
		西气东输沿线（处理组）			非西气东输沿线（对照组）		
四周患病率	过去四周生病或受伤为1，否则为0	10490	0.174	0.422	40956	0.155	0.507
年龄	受访者当年实际年龄	10495	46.68	19.50	41029	45.93	19.15
性别	男性为1，女性为0	10495	0.474	0.499	41030	0.481	0.500
教育水平	个人受教育年限	9546	8.643	4.861	38919	8.116	4.992
婚姻状况	已婚为1，否则为0	9336	0.925	0.264	36395	0.914	0.281
农业	从事农业工作为1，其他工作为0	9419	0.178	0.382	36737	0.209	0.407
医保状况	有医保为1，无医保为0	10494	0.913	0.282	41030	0.826	0.379
户籍属性	城镇为1，乡村为0	10495	0.437	0.496	41030	0.349	0.477
收入	家庭人均收入	10495	1.6163	3.066	41030	1.2334	1.281
家庭规模	家庭人口数量	10385	3.977	1.691	40356	3.678	1.599
人口	城市人数	9699	198	80.52	38657	141	166.0
病床数	城市病床数	10495	2.273	1.888	38982	1.266	1.723

四、实证分析

基准估计

渠道分析

选择效应
讨论

进一步
分析

基准估计

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>WEGT_Post</i>	-0.0325** (0.0134)	-0.0627** (0.0243)	-0.0780*** (0.0194)	-0.0817*** (0.0260)
常数项	0.1618*** (0.0106)	0.0162 (0.0273)	0.1660*** (0.0018)	0.0322 (0.1814)
个体控制变量	否	是	否	是
家庭控制变量	否	是	否	是
地区控制变量	否	是	否	是
年份固定效应	否	否	是	是
城市固定效应	否	否	是	是
观测值	51446	40265	51446	40265
调整 R^2	0.0003	0.0231	0.0130	0.0336

估计结果显示，无论是否添加控制变量和固定效应，核心解释变量的系数均为负值，且至少在5%的统计水平上显著。这表明与非西气东输二线沿线城市相比，西气东输二线工程投产后的节点城市的公众发病率显著降低。就影响程度而言，在加入全部控制变量和固定效应后，表2的第（4）列中的估计系数为-0.0817。表明在样本期内，与非西气东输二线工程沿线城市相比，西气东输二线工程会降低当地四周患病率约8.17个百分点。

稳健性分析

- 1、**平行趋势检验**（动态效应）
- 2、**安慰剂检验**（随机化处理组）
- 3、**样本选择问题**（使用不包含省会城市的子样本进行分析，删除长三角城市群，使用工程沿线省份样本）
- 4、**排除同期能源项目干扰**（排除陕京三线工程，排除秦皇岛-沈阳天然气管道工程）
- 5、**排除同期环境政策干扰**（排除“低碳城市”政策，排除“碳排放权交易试点”政策，排除“大气十条”环境政策）
- 6、**其他稳健性检验**（排除西气东输一线工程的影响，西气东输一线和二线工程重合地区，排除地区能源设施及其他清洁能源干扰，替换被解释变量，遗漏变量问题，将固定效应替换为家庭和个人层面）

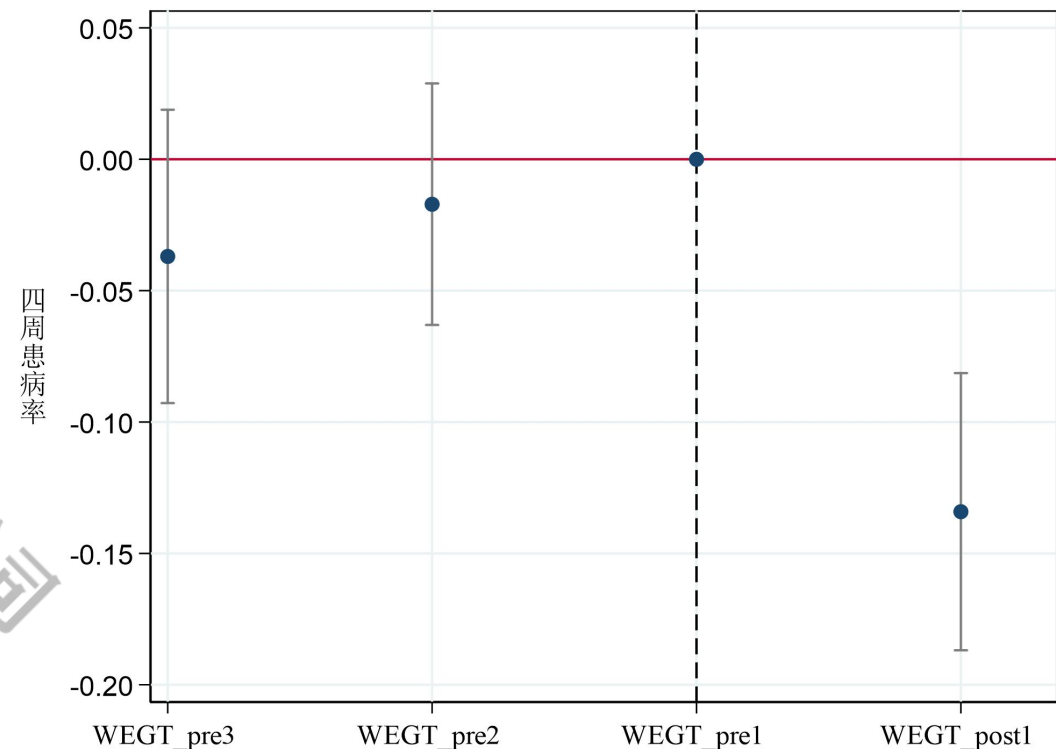
稳健性分析 (1、平行趋势检验)

□ 平行趋势检验 (动态效应)

- 参考谢强和封进 (2023) 的研究方法, 构建模型如公式 (2) 所示。

$$Y_{ict} = \gamma_0 + \sum_k \theta_k WEGT \times I(t = k) + \varphi Control_{ict} + \delta_v + \tau_t + \varepsilon_{ict} \quad (2)$$

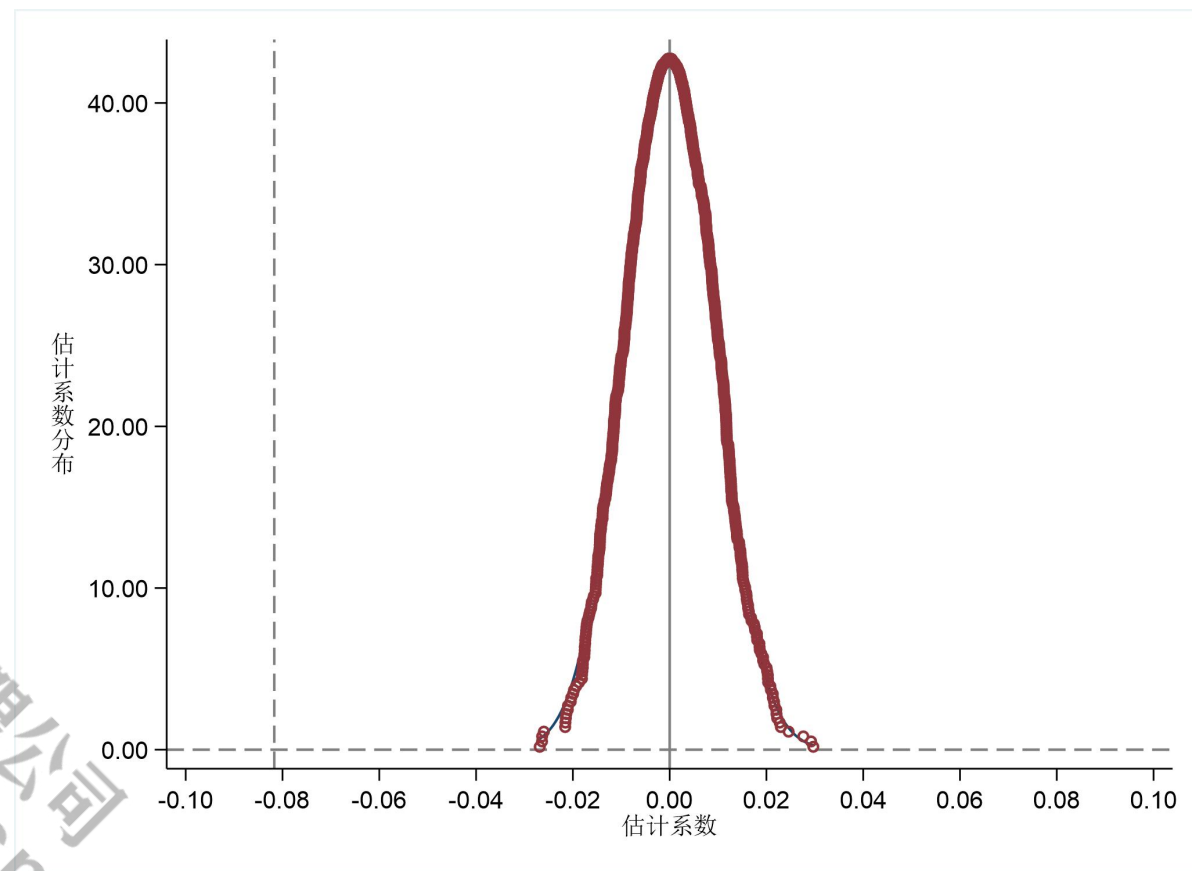
- (2) 式中, $I(t=k)$ 表示年份是否为k的虚拟变量, 根据本文使用的调查数据年份, 可以取值为2006、2009和2011时, 意味着工程实施之前, 分别表示为pre1, pre2, pre3; 取值为2015时, 意味着工程实施之后, 表示为post1, 控制变量与基准回归中相同。在分析中以2011年为参照组。参数值 θ_k 衡量健康水平在处理组和控制组之间的差异。检验结果如图所示。可以发现, 在西气东输二线工程投产之前, 处理组和对照组的健康水平不存在显著的组间差异。而在工程投产后, 二者产生了显著的差别, 这表明研究样本满足平行趋势假设。



稳健性分析（2、安慰剂检验（随机化处理组））

□ 安慰剂检验（随机化处理组）

- 在本文的样本城市中**随机选取虚假的处理组城市，其余城市作为虚假的对照组城市**，并进行回归分析，得到相应的系数估计值。重复1000次上述过程，得到对应的回归系数和p值，并绘制出它们的核密度分布和p值分布图如图2所示。可以发现，抽样回归系数均值在0附近，呈正态分布，与基准回归模型中估计系数具有明显差异（图2中虚线位置），且P值绝大多数在0以上，表明基准回归结果受不可观测因素影响的可能性较小，基准研究结论稳健。



稳健性分析 (3、样本选择问题 (剔除省会城市样本、长三角城市群, 使用工程沿线省份样本))

□ 样本选择问题 (倾向得分匹配)

- 第一, 使用不包含省会城市的子样本进行分析。由于省份城市的规模和经济水平较高, 这可能会提升当地成为西气东输二线节点城市的概率, 同时这些地区的医疗条件更好, 有助于提升公众健康水平。因此, 本文删除省会城市样本, 基于子样本的回归结果报告在表的第 (1) 列中, 的系数显著为负, 表明在剔除特殊样本城市后, 西气东输二线工程能够提升公众健康水平。

变量	(1) 删除省会城市	(2) 删除长三角地区	(3) 使用工程沿线省份样本
<i>WEGT_Post</i>	-0.0735*** (0.0171)	-0.0595*** (0.0202)	-0.0785*** (0.0278)
常数项	-0.3957* (0.2258)	-0.0135 (0.1728)	0.5204 (0.3798)
个体控制变量	是	是	是
家庭控制变量	是	是	是
地区控制变量	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
城市固定效应	是	是	是
观测值	35404	33708	16944
调整R ²	0.0317	0.0311	0.0336

稳健性分析（3、样本选择问题（剔除省会城市样本、长三角城市群，使用工程沿线省份样本））

□ 样本选择问题（倾向得分匹配）

- 第二，**删除长三角城市群**。长三角地区作为中国经济最发达的区域之一，其产业结构、能源需求与其他地区存在显著差异，这可能会掩盖或放大西气东输工程的实际影响。其次，长三角地区经济发展较快，对能源需求较高，拥有更成熟的能源基础设施，更易形成规模效益而享受较低的天然气供应成本，从而影响西气东输工程健康效应的整体评估。因此，通过删除长三角地区样本来排除上述干扰。表的第（2）列结果显示，剔除长三角地区样本没有对估计结果造成实质性影响。

变量	(1) 删除省会城市	(2) 删除长三角地区	(3) 使用工程沿线省份样本
<i>WEGT_Post</i>	-0.0735*** (0.0171)	-0.0595*** (0.0202)	-0.0785*** (0.0278)
常数项	-0.3957* (0.2258)	-0.0135 (0.1728)	0.5204 (0.3798)
个体控制变量	是	是	是
家庭控制变量	是	是	是
地区控制变量	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
城市固定效应	是	是	是
观测值	35404	33708	16944
调整R ²	0.0317	0.0311	0.0336

稳健性分析（3、样本选择问题（剔除省会城市样本、长三角城市群，使用工程沿线省份样本））

□ 样本选择问题（倾向得分匹配）

- 第三，使用工程沿线省份样本。虽然西气东输工程带来的天然气主要供应沿线节点城市，但也有可能通过省内建设的天然气管道输送到其他城市。如果同省内的非节点城市也获得了西气东输工程输送的天然气，那么可能导致基准回归结果高估了西气东输二线工程的健康效应。参考谢泽宇等（2023）的研究，使用二线工程沿线省份作为研究样本，删除二线工程非沿线省份样本。将沿线省份的节点城市作为处理组，省内的其他城市作为对照组，回归结果报告在表的第（3）列。

变量	(1) 删除省会城市	(2) 删除长三角地区	(3) 使用工程沿线省份样本
<i>WEGT_Post</i>	-0.0735*** (0.0171)	-0.0595*** (0.0202)	-0.0785*** (0.0278)
常数项	-0.3957* (0.2258)	-0.0135 (0.1728)	0.5204 (0.3798)
个体控制变量	是	是	是
家庭控制变量	是	是	是
地区控制变量	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
城市固定效应	是	是	是
观测值	35404	33708	16944
调整R ²	0.0317	0.0311	0.0336

稳健性分析（4、排除同期能源项目干扰（陕京三线，秦-沈天然气））

□ 排除同期能源项目干扰

- 同期的其他能源项目也可能会影响公众健康水平，为了缓解其他冲击可能对研究结果存在的干扰，本文依次对样本期内存在的其他代表性能源工程进行逐一排除。主要包括**陕京三线天然气管道工程**，**秦皇岛-沈阳天然气工程**。
- 参考李慧等（2023）的方式，将全样本中与陕京三线工程以及秦皇岛-沈阳天然气工程沿线城市重合的样本删除。表的第（1）列和第（2）列分别报告了排除陕京三线和秦-沈线工程后的结果。可以发现，在排除其他能源工程的可能影响后，回归结果仍与基准回归保持一致。

变量	(1) 陕京三线	(2) 秦-沈线
<i>WEGT_Post</i>	-0.0997*** (0.0244)	-0.0803*** (0.0255)
常数项	-0.1674 (0.1259)	0.0752 (0.1852)
个体控制变量	是	是
家庭控制变量	是	是
地区控制变量	是	是
年份固定效应	是	是
城市固定效应	是	是
观测值	38193	36623
调整R ²	0.0341	0.0359

稳健性分析（5、排除同期环境政策干扰（排除低碳城市、碳排放权交易试点、大气十条环境政策））

□ 排除同期能源项目干扰

- 环境规制同样是降低污染，改善居民健康的有效方式。在样本研究期间的“十一五”和“十二五”期间，我国出台了多项环境规制政策，在这些政策试点区域采取了不同的环境保护措施，由此导致的污染减排可能也会影响地区居民的健康水平。

变量	(3) 低碳城市	(4) 碳交易市场	(5) 大气十条	(6) 同时排除
$WEGT_Post$	-0.0706*** (0.0216)	-0.0652*** (0.0140)	-0.0606** (0.0241)	-0.0773*** (0.0155)
常数项	-0.0177 (0.1249)	-0.1531* (0.0902)	-0.0292 (0.1240)	-0.1553* (0.0872)
个体控制变量	是	是	是	是
家庭控制变量	是	是	是	是
地区控制变量	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是
观测值	40265	40265	40265	40265
调整 R^2	0.0339	0.0353	0.0340	0.0355

- 在基准模型的基础上分别添加低碳城市、碳交易市场、大气十条政策与年份虚拟变量的交互项，并同时添加了这三项环境政策与时间虚拟变量的交互项，以控制环境政策对西气东输工程健康效应的影响，回归结果如表的第（3）~（6）列所示，可以发现，核心解释变量系数仍显著，表明基准回归的研究结论稳健。

稳健性分析（6、其他稳健性检验（排除一线工程，一线和二线重合地区，能源设施及其他能源））

□ 其他稳健性检验

- 为了缓解西气东输一线工程的干扰，借鉴李慧等（2023）的方法，删除一线工程沿线地区样本后进行回归。
- 将重叠地区的样本作为处理组，剔除单独实施二线工程或一线工程的地区，将不处于西气东

变量	(1) 排除一线工程	(2) 工程重合地区	(3) 排除LPG	(4) 排除能源基建	(5) 同时排除
<i>WEGT_Post</i>	-0.0890*** (0.0277)	-0.0884** (0.0345)	-0.0928*** (0.0190)	-0.0817** (0.0303)	-0.1003*** (0.0219)
常数项	-0.0266 (0.1857)	0.3143 (0.5045)	-0.0557 (0.1191)	-0.2602 (0.2614)	-0.1115 (0.3642)
个体控制变量	是	是	是	是	是
家庭控制变量	是	是	是	是	是
地区控制变量	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是
观测值	40265	33920	37473	25286	24049
调整R ²	0.0336	0.0350	0.0368	0.0475	0.0495

输一、二线工程沿线城市作为对照组，利用基准回归模型进行估计。主要结论仍稳健。

- 将城市液化石油气供应总量和天然气储气能力作为控制变量加入模型，排除其他清洁能源和能源基础设施建设的干扰，结果显示，表示在排除这些干扰后，本文研究结论仍稳健。

稳健性分析（6、其他稳健性检验（替换被解释变量，遗漏变量问题，使用家庭和个人固定效应））

□ 其他稳健性检验

变量	呼吸类疾病	心血管疾病	城市×时间	省份×时间	家庭固定	个体固定	
● 使用呼吸系统疾病及心血管类疾病是作为衡量居民健康水平的替代指标放入回归模型进行稳健性检验。	<i>WEGT_Post</i>	-0.0113*** (0.0028)	-0.0322*** (0.0081)	-0.0697*** (0.0205)	-0.0911*** (0.0217)	-0.0888*** (0.0307)	-0.0890* (0.0456)
	常数项	0.0247 (0.0158)	-0.1787* (0.0921)	-0.0513 (0.1299)	0.0935 (0.1327)	0.0127 (0.1898)	0.5667 (1.7110)
	个体控制变量	是	是	是	是	是	是
	家庭控制变量	是	是	是	是	是	是
	地区控制变量	是	是	是	是	是	是
	年份固定效应	是	是	是	是	是	是
● 为了缓解与时间相关的遗漏变量对研究结论的干扰，还需要尽可能地	城市固定效应	是	是	是	是	否	否
将家庭所处地区的经济	家庭固定效应	否	否	否	否	是	否
	个体固定效应	否	否	否	否	否	是
	观测值	31000	40184	40265	40265	39769	33063
	调整R ²	0.0122	0.1306	0.0342	0.0342	0.1046	0.0987

波动因素分离开。对此,本文参考李增福等 (2022), 分别控制了城市时间趋势项、省份时间趋势项。

- 为了更有效的控制微观层面不随时间变化的遗漏变量对估计结果的影响, 本文将基准模型中城市固定效应替换为家庭固定效应和个人固定效应。

渠道分析与选择效应讨论

□ 渠道分析

- 家庭用能选择
 - 企业污染减排
 - 城市环保绩效
- 微观
- 宏观

大量研究发现**空气污染是导致健康水平下降的重要原因** (Barreca等, 2021; Huang和Xing, 2023)。主要包括两种类型：**室内污染和室外污染**，前者主要由家庭使用燃料产生，后者主要由企业生产过程排放导致，且这二者可以相互影响，并共同形成大气污染。本文拟从**微观与宏观两个层面**，分**家庭、企业和城市三个方面**对这种污染减排路径进行识别和检验。

□ 选择效应讨论

- 城乡属性 → 解释变量
- 年龄差异 → 被解释变量

由于天然气在不同地区使用程度上的区别，以及受空气污染影响人群体质差异，可能导致西气东输二线工程产生的健康效益有所不同。为此，本文从**西气东输二线工程所经过地区特征**，和**受影响人群年龄上的差异**展开选择效应讨论。

渠道分析与选择效应讨论

□ 渠道分析（家庭用能选择）

- 空气污染是影响公共健康重要来源之一，在许多发展中国家，**室内污染是最大的空气污染源**（Afridi等，2021）。家庭能源消费是我国能源需求的重要组成部分（吴施美和郑新业，2022），家庭能源消费结构的不合理直接影响居民健康。

变量	(1) 传统能源	(2) 污染能源	(3) 天然气
<i>WEGT_Post</i>	-0.0276** (0.0133)	-0.0462*** (0.0122)	0.0621*** (0.0107)
常数项	0.3625*** (0.0349)	0.7825*** (0.0267)	0.1832*** (0.0190)
个体控制变量	是	是	是
家庭控制变量	是	是	是
地区控制变量	是	是	是
家庭固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
观测值	14154	14154	14154
调整R2	0.4988	0.5621	0.6388

- 我们将全样本数据与家庭用能数据相匹配，将家庭使用能源中的**木炭、木材和稻草**作为传统能源。将**未经加工的固体燃料**（木材，煤炭，木炭等）、**煤油**作为污染能源。最后将家庭是否使用传统能源、污染能源以及家庭“**是否使用天然气**”的二元变量作为被解释变量。

渠道分析与选择效应讨论

□ 渠道分析（企业污染减排）

- 企业能源消费是污染排放的重要来源，促进企业能源结构清洁化转型是破解产量增长与环境污染问题的重要途径。西气东输工程为沿线城市企业生产提供了充足的清洁能源供给，有助于推动企业用能结构的清洁化改进，降低企业污染排放。

变量	(1) SO ₂	(2) COD	(3) Smoke	(4) H ₂ O	(5) NO _x
<i>WEGT_Post</i>	-0.2600** (0.1320)	-0.3371*** (0.0734)	-0.1967* (0.1186)	-1.0092*** (0.3023)	-0.1847** (0.0877)
常数项	89.9665*** (6.3786)	-1.0675 (0.6874)	-6.6209*** (0.3212)	-24.3229*** (1.6489)	-15.9696*** (0.7104)
个体控制变量	是	是	是	是	是
家庭控制变量	是	是	是	是	是
地区控制变量	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是
行业固定效应	是	是	是	是	是
观测值	302159	255263	270263	310463	255676
调整R ²	0.2544	0.6631	0.0686	0.0352	0.2779

- 利用与样本期一致的2006-2015年中国工业企业污染数据库与中国工业企业数据库结合，考察西气东输二线项目对企业污染排放的影响。参考已有研究（邵朝对，2021），选取二氧化硫（SO₂）、化学污染物（COD）和烟粉尘（Smoke）、工业废水（H₂O）和氮氧化物（NO_x）五类污染指标，以刻画对不同类型污染物的影响。

渠道分析与选择效应讨论

□ 渠道分析 (城市环保绩效)

变量	(1) 二氧化硫	(2) 烟粉尘排	(3) PM2.5	(4) 天然气
<i>WEGT_Post</i>	-3.7234***	-2.4999***	-2.1517***	4.3902***
	(0.9151)	(0.6937)	(0.6752)	(1.2232)
常数项	7.1630*	5.7792	46.7622***	-16.3747***
	(3.7778)	(3.8544)	(1.8927)	(4.1741)
个体控制变量	是	是	是	是
家庭控制变量	是	是	是	是
地区控制变量	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是
观测值	3611	3613	3816	3107
调整R ²	0.6115	0.0663	0.9451	0.8396

- 随着“健康中国”战略的提出，以及健康城市建设的不断推进，**城市环保绩效对于公众健康水平的重要性也在持续提升**。微观层面的污染减排汇聚到宏观层面，可能表现为城市环保绩效的提升。
- 参考已有研究（李卫兵和张凯霞，2019），**选取二氧化硫（SO₂）、烟粉尘（Smoke）和PM2.5作为城市空气污染物的主要代理指标**，使用城市天然气消费量作为城市能源结构转型的代理变量。

渠道分析与选择效应讨论

□ 选择效应讨论（城乡属性）

变量	乡村		城市	
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>WEGT_Post</i>	-0.0716*** (0.0194)	-0.0657*** (0.0189)	-0.0861*** (0.0279)	-0.0989*** (0.0342)
常数项	0.1581*** (0.0016)	-0.1652 (0.1653)	0.1795*** (0.0032)	0.1573 (0.2257)
个体控制变量	否	是	否	是
家庭控制变量	否	是	否	是
地区控制变量	否	是	否	是
年份固定效应	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是
观测值	32577	24887	18869	15378
调整R ²	0.0135	0.0312	0.0144	0.0402

- 西气东输的主要目的是为了缓解地区经济发展与能源供应不足之间的矛盾。城市在人口、经济的方面具有集聚特征，经济发展速度快，能源需求大，天然气供应更易形成规模效应，而乡村具有分散性，难以建设配套管道天然气设施，这也导致我国农村地区天然气消费量长期占比较低。
- 回归结果表明，西气东输工程在城市地区产生的健康效应比乡村地区更明显。但二者系数值差异并不太大，说明城市清洁能源发展带来的环境质量改善也有利于邻近乡村地区居民健康状况改善。

渠道分析与选择效应讨论

选择效应讨论（年龄差异）

变量	少儿（1-15岁）		成人（16-59岁）		老人（60岁及以上）	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>WEGT_Post</i>	-0.0964*** (0.0321)	-0.0824* (0.0460)	-0.0533*** (0.0185)	-0.0646*** (0.0223)	-0.1383*** (0.0402)	-0.1351*** (0.0498)
常数项	0.1086*** (0.0032)	0.6587** (0.2917)	0.1326*** (0.0015)	-0.0298 (0.1878)	0.2714*** (0.0046)	0.1857 (0.2112)
个体控制变量	否	是	否	是	否	是
家庭控制变量	否	是	否	是	否	是
地区控制变量	否	是	否	是	否	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是	是
观测值	4757	3505	33269	29238	13419	11027
调整R ²	0.0103	0.0194	0.0120	0.0181	0.0260	0.0386

- **不同年龄段人群对于环境污染的健康感知具有显著差异。**从理论上讲，少儿和老年人的抵抗力更低，更容易受到空气污染的影响（Cheung等，2020）。
- 结果表明，西气东输二线工程所产生的健康效应，主要是由少儿和老年人群发病率下降所带来的，且主要体现在老年人群体。**在快速老龄化背景下，清洁能源发展对改善老年人健康水平提供了有益启示。**

五、进一步分析

环境政策的影响

福利分析

进一步分析

□ 环境政策的影响

- 实现能源消费结构绿色低碳转型升级，必须同时从“**供能**”和“**用能**”两个方面着手。
- 这既要保障清洁能源供给能力的持续提升，又需要全社会**用能结构不断优化**。
- 虽然西气东输项目给沿线地区带来了充足的天然气供应，但其污染减排效果仍**受当地对天然气实际使用情况的影响**。
- 而“煤改气”政策通过行政推广和政策补贴等方式，有助于**增加天然气使用量**，并替代地区煤炭使用量，这能够促进当地清洁能源发展。
- 参考罗知和李浩然（2018）的研究，设定“**煤改气**”政策设定为虚拟变量**CTG**，当地区燃煤使用减少且天然气使用增加时取值为1，否则取值为0。并构建以下**三重差分**模型进行检验：

$$Y_{i,c,t} = \alpha + \beta_1 \cdot WEGT_Post_CTG_{c,t} + \beta_2 \cdot WEGT_Post_{c,t} + \beta_3 \cdot WEGT_CTG_{c,t} + \beta_4 \cdot Post_CTG_{c,t} + \gamma Control_{i,c,t} + \delta_c + \tau_t + \varepsilon_{i,t}$$

进一步分析

□ 环境政策的影响

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>WEGT_Post_CTG</i>	-0.0980***	-0.1153***	-0.1114***	-0.1357***
	(0.0000)	(0.0039)	(0.0063)	(0.0135)
常数项	0.1445***	-0.0008	0.1615***	0.0203
	(0.0109)	(0.0281)	(0.0005)	(0.1699)
个体控制变量	否	是	否	是
家庭控制变量	否	是	否	是
地区控制变量	否	是	否	是
年份固定效应	是	否	是	是
城市固定效应	是	否	是	是
观测值	51446	40265	51446	40265
调整 R^2	0.0031	0.0264	0.0125	0.0335

- 三重差分结果表明，无论是否添加控制变量，***WEGT_Post_CTG***系数绝对值均大于基准回归中***WEGT_Post***系数绝对值，说明“煤改气”政策具有“锦上添花”的效果，能够促进地区能源消费结构清洁化转型，提升西气东输项目带来的健康效应。

进一步分析

福利分析

- 疾病不仅会影响人们的健康，还会带来一系列的连锁反应，如医疗成本和工作绩效等。仅关注西气东输工程的健康效应可能会忽略与健康相关的经济收益。

- 一方面，假设医疗成本是疾病的直接影响。西气东输工程降低公众疾病费用平均降低540元左右，城市医疗支出平均降低25.65亿元左右。

- 另一方面，假设工作表现是疾病的间接影响。西气东输沿线节点城市个体的就业概率增加了6.9个百分点。

变量	(1) 个人医疗费用	(2) 城市医疗支出	(3) 就业机会
<i>WEGT_Post</i>	-5.4014** (2.4076)	-0.2565** (0.1295)	0.0690*** (0.0165)
常数项	-1.1096 (3.1709)	-3.4571** (1.5757)	0.8116*** (0.1181)
个体控制变量	是	是	是
家庭控制变量	是	是	是
地区控制变量	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
城市固定效应	是	是	是
观测值	41294	2400	37759
调整 R^2	0.0013	0.9592	0.4336

- 上述分析仍是对西气东输工程所带来福利效应的保守估计。主要是由于疾病的其他隐性成本难以观测和量化，当考虑到这些额外因素后，西气东输工程所带来的综合收益可能会更大。

六、结论与启示

结论

启示

北京友万信息科技有限公司
www.uone-tech.cn

结论与启示

- 习近平总书记指出：“良好的生态环境是人类生存与健康的基础”
- 清洁能源发展和健康水平提升不仅是联合国可持续发展目标之一（SDG7和SDG3），也是我国推进能源革命和实施健康中国战略的内在要求。因此，探究这二者之间的内在关系及作用渠道兼具理论和现实意义。
- 我国的资源禀赋以煤炭为主，这也导致我国能源供给结构具有高煤、高碳特征，能源消费会产生大量空气污染物，对人民健康造成不利影响。
- 随着西气东输工程的逐期投产，能源供给侧结构转型持续推进，社会用能清洁化水平也得到大幅提升，中国能源结构正处于不断向清洁化转型过程中。
- 西气东输工程不仅直接提高了能源利用效率，而且伴随着资源调配，地区能源结构和污染排放也随之发生变化，从而间接影响公众健康水平。
- 本文立足于我国能源结构持续清洁化转型这一特定事实，将西气东输二线工程沿线城市信息与CHNS数据合并，从微观层面检验西气东输工程对公众健康水平的影响及可能渠道。

结论

01

西气东输工程改善了公众的健康状况，工程沿线居民患病率降低了8.17个百分点，产生了健康效应，在通过多种检验后仍稳健。

02

家庭用能结构优化、企业企业污染减排、城市环保绩效提升是主要作用渠道。这种健康效应在城镇居民和老年人群中体现更明显。

03

西气东输工程减少了个人和城市医疗支出，还增加了地区就业水平，带来了正向的社会收益。环境规制政策能够扩大该健康效应。



启示

01

加强能源基础设施建设，提升清洁能源发展的健康效应。加快全国天然气管道建设，拓宽天然气来源渠道及消费范围。推进多种清洁能源融合发展。

02

引导社会主体优化用能结构，促进能源清洁高效利用。利用市场手段激励企业改变用能类型，通过补贴引导家庭使用清洁能源替代传统污染能源。

03

强化政策协同体系设计，扩大能源转型的综合效益。增加财政支持，以能源转型为主要方向，协同推动能源供给和能源消费，并配套环境治理措施。

