

## 空气质量与公共健康: 以火电厂二氧化硫排放为例\*

陈 硕 陈 婷

**内容提要:**廓清工业气体排放对公共健康的影响有助于提高公共政策的质量和效率,但目前鲜有经济学文献对其效应进行系统且严谨的识别。医学领域文献大都基于个体或非随机样本且不考虑内生性问题,其所获结论和政策含义均需谨慎对待。为了弥补上述不足,本文基于地级市面板数据并利用3SLS实证检验火电厂二氧化硫排放对公共健康的影响。本文发现:首先,就影响来说,二氧化硫排放量每增加1%,万人中死于呼吸系统疾病及肺癌的人数将分别增加0.055和0.005。就绝对水平来看,二氧化硫排放每增加100万吨,万人中死于这两类疾病的人数分别增加0.5人和0.3人;其次,就生命损失及医疗费用来说,该气体每年造成的死亡人数在18万人左右,导致的相关治疗费用超过3000亿元。

**关键词:**气体排放 公共健康 二氧化硫 环境

### 一、引言

改革开放以来我国在保持经济高速增长的同时也付出了高昂的环境代价:城市地区空气中二氧化硫及粉尘含量全世界最高;<sup>①</sup>世界污染最严重的20个城市中有16个在中国;7大流域水体中有54%不适合居民饮用(World Bank, 2007;乔晓楠、段小刚,2012)。同时,环境的恶化也突出体现在居民的公共健康上。空气污染被排在中国人十大致死因子的第4位(Wang et al., 2010)。与空气质量紧密相关的肺癌在各类癌症中最为普遍:例如,2008年肺癌死亡人数约占中国癌症总死亡人数的四分之一。众所周知,公共健康水平的降低意味着人均预期寿命的缩短,这将在长远对国家发展带来负面影响。同时,该问题的急迫性也随着国家医疗保险体系的建立及完善而日益突出,公共健康水平的提高意味着公共资源和国家财政的节约。

长期以来,我国的工业布局期初选址决策过程中的出发点和侧重点均集中在经济效益上,而对潜在公共健康影响考虑不足,甚至一定程度上以牺牲环境来换取经济增长(朱平芳等,2011)。近年来频繁发生的由于建厂威胁周边环境而导致当地居民群体性事件的发生已经威胁到基层社会稳定。<sup>②</sup>此

\* 陈硕,复旦大学经济学院,邮政编码:200433,电子信箱:cs@fudan.edu.cn;陈婷,香港科技大学社会科学部,电子信箱:ctxad@ust.hk。作者感谢山东大学经济学院马驰骋教授提供的部分数据;感谢复旦大学经济学院章元教授、国务院发展研究中心石光研究员的宝贵意见及曹一鸣、朱志韬两位同学优秀的研究助理工作;本研究受到国家自然科学基金青年项目(项目号71303059)的资助。感谢匿名审稿意见。文责自负。

① 例如,2009年PM10世界平均水平是43微克/立方米,中国是60微克/立方米(World Bank, 2013)。

② 例如,发生在2007年6月1日厦门、2011年8月14日大连、2012年10月25日宁波及2013年5月16日的市民反对PX(对二甲苯)项目的群体性事件,又例如北京在2013年1月连续出现大范围雾霾天气引起公众对环境恶化的普遍担忧。在这次雾霾天气中,PM2.5(直径等于小于2.5微米的空气颗粒)值在1月12日甚至一度接近历史最高水平700(300以上定义为“严重污染”)。

外,随着公众对环境污染问题的关注以及中央政府“环境友好型社会”建设目标的提出,将环境污染纳入公共政策的考核范围就显得日益重要且急迫。该目标的实现离不开对特定产业政策环境成本的量化和对公共健康潜在影响的严谨评估。但目前鲜有经济学文献对其效应进行系统且严谨的识别。医学领域文献大都基于个体或非随机样本且不考虑内生性问题,其所获结论及政策含义均需谨慎对待。本研究试图以火电厂二氧化硫气体排放为例,实证检验工业废气对居民呼吸系统相关疾病的影响。

本文基于我国161个地级市5年的面板数据并利用3SLS方法克服气体排放的内生性问题。我们发现有害气体排放显著地损害了居民的公共健康。首先,二氧化硫排放量每增加1%,万人中死于呼吸系统疾病的人数将增加0.055,死于肺癌人数将增加0.005。就绝对水平来看,二氧化硫排放每增加100万吨,万人中死于呼吸系统疾病人数和肺癌人数会分别增加0.5人和0.3人。就生命损失及医疗费用来说,每年由于二氧化硫排放造成的死亡人数在18万人左右,导致的相关治疗费用超过3000亿元。此外,我们也发现有害气体的负面作用在电厂修建后的3年内最大。上述实证结果也反映出基于OLS方法会低估该负面作用15%左右。

本文的发现具有显著的学术价值和现实意义。就政策含义来说,其发现可为政府决策提供如下依据:第一,居民对污染的日益关注凸显出我国环境治理需要从当前的事故风险防控提升到健康风险防控上,做到事前防控。这种转变必然需要将产业政策的潜在环境成本及影响纳入决策考察范围。因此,我们需要准确地评价环境污染对于公共福利(本文特别针对公共健康)所造成的负面影响,从而可以指导下一步的政策调整和环境改造工作;第二,为中央政府制定空气质量及工业排放标准提供科学依据,也可为地方政府制定合理补偿机制和移民政策提供参考;第三,降低环境污染对于我国的增长方式转型及经济的可持续发展具有重要意义(林伯强、刘希颖,2010;袁富华,2010;张伟、吴文元,2011;李树、陈刚,2013;王锋等,2013;宋马林、王舒鸿,2013)。随着中国对于“科学发展观”的深入认识和贯彻执行,未来对于地方官员的绩效考核也可能将逐步转向“绿色GDP”,或者进一步考虑经济增长的环境代价。将这些参数纳入决策者考量范围无疑有助于提高公共政策的质量和效率,从而降低不稳定因素增进社会和谐,也响应了党的“十八大”报告中“建设环境友好型社会”的精神。

文献意义主要有以下两方面:首先,虽然为数众多的文献致力于探索癌症的致病因素,但现有工作研究大都致力于探究癌症发病的个体(医学)层面原因,较少关注地区性影响因素。从这个意义上来说,现有工作虽然可以有效解释个体在患病上的概率差异,却无法解释地区间差异:在其他条件一致的情况下,为何一个地区的居民癌症发生率高于另一地区。本研究工作有效弥补现有文献的不足;其次,就实证策略来说,虽然本文的研究重点集中在二氧化硫排放的潜在作用上,但利用工具变量方法来解决其内生性问题的识别策略可为其他检验空气及水资源污染影响的工作提供借鉴。

本文其他内容组织如下:在第二部分我们将综述该领域相关文献并指出存在的问题;第三部分交代我国火电厂建设及气体排放的背景;第四部分将介绍实证分析需要的数据及建构方法;实证分析在第五部分;最后一部分是结论。

## 二、空气污染和公共健康:已有研究及存在问题

医学文献已经发现空气污染导致呼吸系统相关疾病的主要原因之一是空气中的二氧化硫浓度(Peel et al., 2005)。<sup>①</sup> 1952年12月5—9日的伦敦烟雾事件是历史上最著名的一次由空气质量恶

<sup>①</sup> 研究发现空气中二氧化硫浓度超过0.5ppm时即对人体造成危害(Lee et al., 2000)。

化(主要是二氧化硫及粉尘)导致的环境灾难。这次事故共导致超过 12000 人死于呼吸系统相关疾病(Bell & Davis, 2001)。该事件及后来的一系列空气污染事件逐渐引起了学界对空气质量和公共健康间关系的关注。20 世纪 80 年代以来,发达国家快速的城市化及工业化伴随的汽车尾气及工业废气增加进一步加剧了该问题的急迫性。基于美国居民健康调查数据,研究者发现那些居住在城市化或工业化程度较高地区的居民患呼吸系统相关癌症,特别是肺癌概率要比其他地区高出 0.3—1.5 倍(Brunekreef & Holgate, 2002),其患动脉硬化及缺血性心脏病的概率同样较其他地区高(Künzli et al., 2012)。这种负面作用还会随着时间延长而逐渐变大(Pope 3<sup>rd</sup>, 2002)。基于欧洲国家的样本也发现了和美国相似的结果(Nyberg et al., 2000; Hoek, 2002)。

和现有基于发达国家利用大规模随机抽样数据的研究相比,采用中国数据实证检验二者关系的近期文献主要局限于特定地区。例如,宋桂香等(2006)采用上海市数据考察了大气污染对居民每日死亡的影响;杨敏娟、潘小川(2008)、殷文军等(2012)基于时间序列数据分别讨论了北京市和广州市空气污染与城区居民心脑血管疾病死亡间的关系;采用苏州日度天气数据,杨海兵等(2010)分析了主要大气污染物浓度对癌症死亡率的影响;也有文献试图探索空气污染对新生儿健康、青少年呼吸系统的影响(王燕侠等,2007;陈晓等,2012)。就样本选择来说,唯一的例外是 Chen et al. (2013)使用全国样本发现我国冬季燃煤取暖造成的总悬浮颗粒(TSPs)增加降低了人均寿命:平均来说,每立方米大气中 TSPs 浓度上升 100 微克会导致预期寿命缩短 3 年。综上所述,这些研究均一致地发现空气质量和人体健康之间存在显著负面关系。<sup>①</sup>

就因果识别来说,除了 Chen et al. (2013)的研究工作将气体排放视作内生并用准自然实验(Quasi-experiment)的断点回归技术(Regression Discontinuity Design)来处理外,其他研究更多地是发现二者相关而非因果。基于此获得的政策性含义均需谨慎对待,一致地估计二者间关系需要解决有害气体排的内生性问题。这种内生性在本研究中主要表现为测量偏误及遗漏变量问题:首先,空气质量在现阶段已经列作地方官员考核指标之一。有研究发现地方官员在汇报空气质量数据时存在明显的断点(Chen et al., 2013)。这意味着汇报数据的测量偏误也许不是经典测量偏误:其误差大小可能和官员某些特质相关。如果有理由认为这些官员特质同时影响地方公共健康的话,该类型测量偏误会导致内生性问题并使得估计结果不一致;其次,除了关键解释变量之外,现有文献也发现公共健康水平也会受其他因素的影响,这些因素包括天气条件(McMichael et al., 2006)、汽车尾气(Kagawa, 2002)、室内烟尘(Lozano et al., 2012)及烟草消费(General US Surgeon, 2006)等等。如果它们同时和电厂装机容量及公共健康相关的话,简单的双向固定效用模型无法有效剔除掉这些变量对估计结果的影响,这也会导致估计结果的不一致。基于这些考虑,我们将使用基于工具变量的三阶段最小二乘估计(3SLS)方法来解决气体排放的上述内生性问题。对此介绍将在本文的第四部分。

### 三、我国的火电厂建设及二氧化硫排放:背景介绍

在我国,火电厂燃煤是二氧化硫浓度上升的主要原因(Almond et al., 2005;徐冠华,2011;赵乾杰,2012)。燃煤的增加主要源自 2000 年后我国快速的城市化与工业化增加的电力需求(毛晓茜,2011;李小飞等,2012)。为了满足该需求,国家在“十五”规划中定下了在 2006 年实现电力供求平衡的目标,并于 2003 年在原国家电力公司的基础上成立五大电力集团。一方面,发电企业之间“争夺已建电源,抢占新建电源选址”的竞争引发了一场“圈地运动”,另一方面电力集团的建设热潮也

<sup>①</sup> 我们汇总了本部分综述涉及到的数据覆盖地区、样本期、估计方法、环境污染及健康指标,感兴趣的读者可以向作者索要。

迎合了地方政府的投资冲动。上述这些因素造成了火电厂装机容量的增长在2005年达到顶峰;当年新增装机容量6190万千瓦,比上一年增加18.79%。与之对应,二氧化硫的年排放量也在当年达到最高点:达到2549.40万吨,超过上年299.4万吨(图1)。在2006年之后,我国开始对二氧化硫减排进行指标分配,排量出现稳定回落。

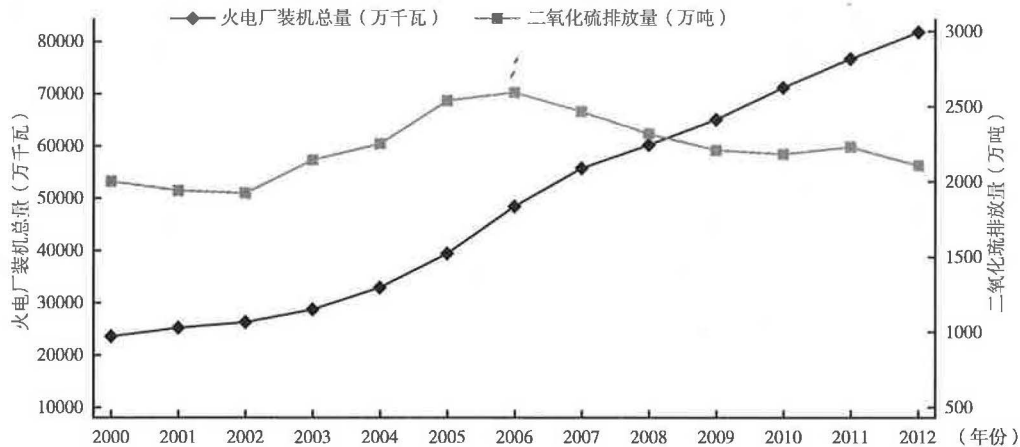


图1 二氧化硫年排放量与火电厂装机容量

数据来源:“二氧化硫排放量”来自《中国城市统计年鉴》,“全国火电厂装机总量”来自《中国电力年鉴》。

就二者的地域分布特征来说,二氧化硫排放集中的地区与火电厂数量之间存在着显著的相关性。华中、华东、长三角及东南沿海地区为我国火电厂分布的密集区域;位于这些地区的火电厂雇员人数占全国火电厂雇员总人数的63%。而该地区的二氧化硫排放量占全国总排放量的71%。综上所述,上述跨时和跨地区差异为本文接下来的因果识别工作提供了必要的前提条件。

#### 四、数据来源及变量选取方法

本研究样本为面板数据,覆盖全国161个地级市的2004、2006、2008、2009及2010年数据。被解释变量公共健康水平由两个指标测量:“每万人中呼吸系统疾病死亡人数”和“每万人中肺癌死亡人数”。<sup>①</sup> 需要指出的是,之所以将癌症作为考察重点是因为该病种在我国的严重性及对经济发展和政府财政的显著负面影响。首先,癌症在中国的发病及死亡人数不光是世界最高,同时也是当前中国人各类死亡原因的第二位、死亡率的第一位(黄纪帅,2010;林坚等,2011)。<sup>②</sup> 其次,较高癌症发病及死亡率会导致人均预期寿命的降低。<sup>③</sup> 最后,癌症的高发对经济发展的阻碍作用也随着国家医疗保险体系的建立及完善而日显突出。<sup>④</sup> 因此,有效降低癌症发病率不光可以提高居民公

① 该指标包括“流行性感冒”、“肺炎”、“其他急性下呼吸道感染”、“慢性下呼吸道疾病”及“呼吸系统疾病的剩余部分”5类呼吸系统相关疾病的总死亡人数。

② 按2008年中国癌症发病率及死亡率估算,全年恶性肿瘤发病人数约为397.23万人、死亡244.24万人,其中死亡人数占全球癌症死亡总人口的32.14%(世界卫生组织,2013)。同时癌症死亡率在近年来也呈现出快速的上升趋势:2004—2005年中国的恶性肿瘤死亡率较1973—1975年上升了83.13%,较1990—1992年上升了25.51%(郑荣寿等,2012)。此外,2010年我国癌症死亡人数占居民总死亡人数的比重已经达到25%(黄纪帅,2010;林坚,2011)。

③ 基于2001—2003年沈阳市癌症死亡人口样本,刘汉伟(2005)发现各类恶性肿瘤疾病分别降低了中国男性和女性的平均预期寿命3.76年和2.46年。

④ 一般而言,癌症患者的住院治疗费用(无论年均还是次均)大大高于其他疾病(林坚等,2011)。考虑到相关治疗费用的60%—70%已经被纳入城镇基本医疗保险的支付范围(黄韻宇等,2011),人群中较高的癌症发病率无疑极大地加重了国家的财政负担。现有研究估算单个癌症病人平均医疗费用按照2004年平均医疗标准约为10万元以上(田虹等,2004),结合2008年癌症发病人数约397.23万人,全年医疗费用接近4000亿元,这意味着2383—2780亿元纳入医保而转由国家财政负担,该数额占当年政府财政收入的4.5%。

共健康水平并提高整体社会人力资本水平,更可以节省大量公共资源,将其转移至其他生产性部门。就本文考察的肺癌来说,其不光和空气质量密切相关,也是目前死亡率最高的癌症:其万人死亡人数为 0.19,是癌症平均死亡人数的 2 倍(中国疾病预防控制中心,2010)。值得注意的是,肺癌发病周期约 13.65 个月(吴新悦等,2009),因此,如果把该病都归结为本年度的空气污染程度将显著高估后者作用。基于这点考虑,将“呼吸系统疾病死亡人数”同样作为被解释变量可以有效弥补其不足:该类疾病发病时间较短,一般以“天”或“周”为计算单位(严志君、罗芳,2012)。

本文的核心解释变量是“二氧化硫排放量”。此外,已有文献也发现影响公共健康水平的其他重要变量还包括公共卫生水平(Crémieux et al., 2005)、人口密度(Levy & Herzog, 1974)、经济发展水平(Marmot, 2005)。我们分别用“万人中病床数量”、“人均医疗支出”、“每平方公里人口数量”及“人均 GDP”加以测量。对以上介绍的被解释变量、核心解释变量和其他控制变量的数据来源及统计描述见表 1。

表 1 变量统计描述

	数据来源	均值	方差
被解释变量:			
万人中呼吸系统疾病死亡人数	全国疾病监测系统死因监测数据库(2004、2006、2008—10)	0.47	0.34
万人中肺癌死亡人数	全国疾病监测系统死因监测数据库(2004、2006、2008—10)	0.19	0.15
关键解释变量:			
二氧化硫排放量(万吨)	中国城市统计年鉴	6.08	5.14
电力部门雇员人数	工业普查数据库 2004—10	3296.72	6475.97
火电厂资产数量(万元)	工业普查数据库 2004—10	709.57	855.15
工具变量:			
煤矿丰富程度	中国自然资源丛书(矿产卷)	1.25	1.46
其他控制变量:			
人均医疗支出(元)	全国地市县财政统计资料	268.39	211.80
人口密度(人/平方公里)	中国县市区社会经济统计年鉴	436.18	532.81
人均 GDP(元)	中国县市区社会经济统计年鉴	23102.29	19801.36

注:表中报告的为变量的绝对值,在回归中则采用对数形式。“万人中呼吸系统疾病死亡人数”和“万人中肺癌死亡人数”2004 年及 2006 年的数据为分市数据,2008、2009 及 2010 年数据为分省数据。人均医疗支出及人均 GDP 的数值均按照 2000 年价格指数调整。

## 五、气体排放对公共健康的影响:实证检验

本部分将实证检验气体排放对公共健康的影响。其中,第一节利用 2004—2006 年新修电厂在时间和空间上的差异进行事件分析;第二节则介绍 OLS 估计结果,第三节是 3SLS 的估计结果。

### (一)事件分析

我们注意到本文考察的地级市在 2004 年到 2006 年有 63% 的样本新建了火电厂。这种地区和时间上的差异可以被用以考察公共健康在同时期的相应变化。因此,我们比较那些修建和没修建电厂地级市的公共健康指标差异在修建前后的变化,据此观察电厂修建对公共健康的影响。这种类似于双重差分(Difference-in-differences)的事件分析方法可以提供上述关系的直观证据。图 2 为分析结果,其中中间的实线为“万人中呼吸系统死亡人数”在没有修建电厂样本和修建电厂样本间的差相对于修电厂 1 年前二者差别间发生的变化。虚线则表示上下 95% 的置信区间。横坐标为

距离 2004—2006 年间修建的第一座火电厂的年数。为了最大限度地实现介入组和控制组在其他决定公共健康指标上的可比性,图 2 的纵坐标是控制了人均 GDP(ln)、人均医疗支出(ln)及人口密度(ln)、年份固定效应、地级市固定效应后的残差值。从中可以发现,在火电厂修建那年及前一年,两组城市在公共健康指标和之前不存在显著差异,也就是说那些没有修建火电厂的城市可以作为修建电厂城市的对照组。但这种相似性在修建电厂后 1 到 3 年就不再存在:那些建设新的火电厂城市在“万人中呼吸系统死亡人数”指标值上明显高于没有修火电厂的城市。和肺癌不同,呼吸性疾病由患病到死亡时间较短,我们有理由怀疑上述差异可能是由电厂排放的有害气体所致。当然,事件分析仅仅提供了二氧化硫对公共健康影响的建议性证据,其因果关系的检验需要有效解决气体排放的内生性问题。

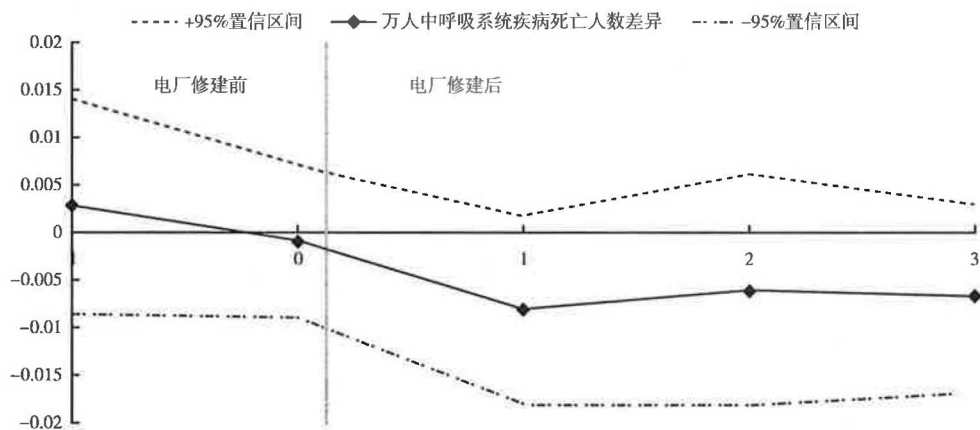


图 2 气体排放与公共健康:事件分析

(二) 最小二乘估计(OLS)

考虑电厂气体排放和公共健康之间的线性关系如下:

$$health_{it} = \alpha_1 SO2_{it} + X'\beta_1 + prefecture_i + year_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中  $i$  表示地级市,  $t$  表示年份。  $health$  为被解释变量公共健康水平。  $SO_2$  表示“二氧化硫排放量”。向量  $X'$  包含上文介绍的其他影响公共健康的因素。  $prefecture_i$  是时间不变的地级市固定效应,用以捕获那些同时影响气体排放量及公共健康水平且不随时间变化的因素,如地方治理质量等。  $year$  为地市级不变的时间效应,用以捕获那些影响所有样本的因素,如经济周期、宏观经济政策等。  $\varepsilon_{it}$  是其他可能起作用但是没有被模型捕获的因素,按照假设应该随机分布于本模型的被解释变量。

对该表达式的 OLS 估计结果见表 2。其中模型(1)和(3)的被解释变量是“万人中呼吸系统疾病死亡人数”,模型(2)和(4)则是“万人中肺癌死亡人数”。从表 2 的估计结果可以发现气体对公共健康的影响并不稳定:二氧化硫排放量每增加 1%,万人中死于呼吸性疾病和肺癌的人数相应增加 0.05 和 0.002。结合 2006 年二氧化硫排放较之 2004 年增长了 13.5%,可计算得出这段时间电厂建设“大跃进”分别增加万人中死于呼吸性疾病和肺癌的人数 0.67 和 0.03。而同时期万人中呼吸系统疾病和肺癌死亡率增加的比率分别是 153% 和 203%。由此可以进一步计算得出二氧化硫排放在这段时间的增加可以解释同期呼吸系统疾病死亡人数增长的 43.8%,肺癌死亡人数的 3%。就其他控制变量来说,人均医疗支出及经济发展水平的增加都能显著降低呼吸系统相关疾病,人口密度的作用则相反。

表 2 电厂气体排放与公共健康(OLS)

解释变量	万人中呼吸系统疾病死亡人数 (1)	万人中肺癌死亡人数 (2)	万人中呼吸系统疾病死亡人数 (3)	万人中肺癌死亡人数 (4)
二氧化硫排放量(ln)	0.046* (0.025)	0.002 (0.012)	0.049* (0.005)	0.002 (0.002)
人均医疗支出(ln)			-0.210*** (0.015)	-0.158*** (0.023)
人口密度(ln)			0.086*** (0.022)	0.014*** (0.003)
人均GDP(ln)			-0.081*** (0.016)	-0.035** (0.016)
常数项	0.647*** (0.112)	0.034 (0.049)	1.837*** (0.206)	-0.208 (0.090)
市固定效应	有	有	有	有
年固定效应	有	有	有	有
观察值	675	675	671	671
R2	0.149	0.165	0.211	0.189

注：括号中的数值为 Huber 稳健标准误；估计方程残差项允许在同省内相关。\*、\*\*、\*\*\*分别表示在 10%、5%、1% 的程度上显著。此外，残差项用辖区面积(平方公里)进行加权。

表 2 的发现揭示出电厂气体排放对公共健康有负面影响。但正如本文第二部分论述,基于 OLS 的估计值可能受到内生性问题的影响。基于这些考虑,我们在接下来使用 3SLS 解决该问题。

(三)三阶段工具变量估计(3SLS)

以下实证分析旨在解决气体排放的内生性问题。气体排放量会受到电厂规模和选址的影响,但后者依然是内生的。因此,我们在本节采用外生的煤炭储量作为电厂规模和选址的工具变量。<sup>①</sup>由于上述因果链条中存在三个阶段,相应的估计方法表述如下:

$$health_{it} = \alpha_2 \hat{SO2}_{it} + X' \beta_2 + prefecture_i + year_t + \varepsilon_{2it} \quad (2)$$

$$SO2_{it} = \alpha_3 plant_{it} + X' \beta_3 + prefecture_i + year_t + \varepsilon_{3it} \quad (3)$$

$$plant_{it} = \alpha_4 coal_{it} + X' \beta_4 + prefecture_i + year_t + \varepsilon_{4it} \quad (4)$$

在上述联立方程组中,我们首先在第一阶段(式 4)用煤炭储量估计火电厂规模,在以下的实证研究中用两个指标代理电厂规模:职工数量及资产总量。然后将估计值代入第二阶段回归(式 3):电厂-气体排放关系中。此时,电厂规模的方差来自于外生的煤炭储量。最后将式(3)中获得的气体排放估计值作为式(2)的关键解释变量进而获得其一致性估计值。由于上述过程涉及到两个工具变量,因此用 3SLS 方法进行估计。应用该方法还有一项优点,即这种系统估计方法充分利用了方程之间残差项的相关关系。从这个意义上来说,3SLS 一定程度上可以看作是 2SLS 和 SUR (Seemly Unrelated Regression) 的结合,从中获得的估计结果更有效率。对方程(4)的一致性估计取决于煤炭储量是否通过而且仅通过影响火电厂二氧化硫排放。煤炭有可能会通过影响诸如钢铁、冶金等行业影响二氧化硫排放。如果这样的话,用煤炭作为工具变量将低估空气排放的负面作用。也有学者担心煤炭富集区一般位于经济发达地区,这些地区公共财政收入较多,因此医疗服务可能较为完善进而公共健康水平较高。该因果链的存在要求我们在方程(3)中控制经济发展水平及医疗支出。

上述第一及第二阶段回归的估计结果在表 3 中,其中上半部分是第一阶段回归结果,下半

<sup>①</sup> 该变量的计算过程为:用大、中、小煤矿数量反映该地区煤炭储量的丰富程度,其中大型煤矿年产量为 300 万吨以上,介于 90 万吨至 300 万吨之间的为中型煤矿,90 万吨以下为小型煤矿。由于特定煤矿的年产量数据不可得,我们采用加权法获得该地区煤炭储量的指数,其中大型煤矿权重是 3,中型煤矿是 2,小型煤矿是 1。由于该变量时间不变,在本文的实证分析中我们用该变量和时间趋势作交互作为工具变量。

部分则是第二阶段回归结果。首先,我们发现矿产储量对两组电厂规模的代理变量均有解释力,其显著性水平( $p$ 值)大于6%。这意味着单变量的  $F$  值远大于10;该工具变量不存在弱工具变量问题。第二阶段回归将预测的电厂规模值作为核心解释变量来解释气体排放。我们发现,火电厂规模显著影响气体排放水平:电厂规模每增加1%,二氧化硫排放量增加大约0.8%—1%。

表3 电厂气体排放与公共健康(3SLS:第一及第二阶段)

解释变量	一阶段回归			
	火电厂职工数量( $\ln$ )	火电厂资产总量( $\ln$ )	火电厂职工数量( $\ln$ )	火电厂资产总量( $\ln$ )
	(1)	(2)	(3)	(4)
矿产储量 × 时间趋势	0.002*** (0.000)	0.008*** (0.003)	0.002*** (0.000)	0.007*** (0.000)
	二阶段回归			
	被解释变量:二氧化硫排放量( $\ln$ )			
火电厂职工数量( $\ln$ )	0.008*** (0.002)		0.008*** (0.002)	
火电厂资产总量( $\ln$ )		0.010*** (0.003)		0.012*** (0.004)
常数项及控制变量	有	有	有	有
市固定效应	有	有	有	有
年份固定效应	有	有	有	有
观察值	1435	1435	1431	1431
R2	0.346	0.271	0.349	0.287

注:括号中的数值为 Huber 稳健标准误;估计方程残差项允许在同省内相关。\*、\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%、1%的程度上显著。在第一阶段回归中,除了工具变量之外,其他控制变量同第二阶段回归。此外,残差项用辖区面积(平方公里)进行加权。

基于同样的逻辑,第三阶段回归将用外生变量解释过了的二氧化硫排放量作为解释变量去解释公共健康。通过上述处理,气体排放变量中的内生性部分已经被排除出去,剩下的外生部分可以保证其估计结果的一致性。第三阶段回归见表4。该表揭示出气体排放对公共健康水平有显著的不利影响:二氧化硫排放量每增加1%,万人中死于呼吸系统疾病的人数将增加0.055,死于肺癌人数将增加0.005。该结果显示 OLS 结果低估了空气污染对公共健康的影响。结合2004年至2006年期间二氧化硫排放的增长率,可以计算出这段时期增加的有害气体排放导致万人中死于呼吸性系统疾病及肺癌人数分别增加0.74和0.07。由此可以进一步计算得出二氧化硫排放在这段时期的增加可以分别解释同期死于呼吸系统疾病和肺癌人数增长的48.00%和4.36%。由于疾病具有地域性特点,我们在表4中进一步引入二氧化硫排放量和地区哑变量以捕捉其作用的地区异质性。回归结果见该表第(4)及第(6)列。交互项的结果表明“二氧化硫排放量”对呼吸系统疾病的作用存在地区差异:该变量在西部地区的负面影响要大于其他地区,但在东部和中部地区之间不存在差异。对于癌症来说,二氧化硫排放对其影响不存在地区差异。

就其他控制变量来说,我们发现人均医疗支出及人均GDP对提高居民公共健康水平有显著的正向作用:人均医疗支出每增加1%,万人中呼吸系统疾病及肺癌死亡人数将分别降低0.15和0.006,而人均GDP的作用分别是0.06和0.04。这些发现和已有文献一致(Nixon & Ulmann, 2006)。这两者的作用凸显出在经济增长的同时提高医疗支出可显著提高居民公共健康水平。



表 4 电厂气体排放与公共健康(3SLS:第三阶段)

解释变量	万人中呼吸系 统疾病死亡 人数(1)	万人中肺癌 死亡人数 (2)	万人中呼吸系 统疾病死亡 人数(3)	万人中呼吸系 统疾病死亡 人数(4)	万人中肺癌 死亡人数 (5)	万人中肺癌 死亡人数 (6)
二氧化硫排放量 (ln)	0.054* (0.030)	0.005** (0.002)	0.055** (0.032)	0.051** (0.029)	0.005* (0.003)	0.005* (0.003)
二氧化硫排放量 (ln)*东部				0.006 (0.015)		0.000 (0.001)
二氧化硫排放量 (ln)*西部				0.008*** (0.003)		0.001 (0.002)
人均医疗支出 (ln)			-0.150*** (0.018)	-0.127*** (0.024)	-0.006*** (0.003)	-0.005** (0.003)
人口密度(ln)			0.040 (0.073)	0.042 (0.066)	0.065 (0.138)	0.044 (0.221)
人均 GDP(ln)			-0.058*** (0.017)	-0.031*** (0.013)	-0.043*** (0.011)	-0.029*** (0.009)
常数项	0.172 (0.326)	0.033 (0.329)	-2.035 (1.985)	-1.156 (1.360)	1.943 (1.184)	2.119 (2.034)
市固定效应	有	有	有	有	有	有
年份固定效应	有	有	有	有	有	有
观察值	675	675	671	671	671	671
R2	0.230	0.261	0.269	0.319	0.318	0.366

注:括号中的数值为 Huber 稳健标准误;估计方程残差项允许在同省内相关。\*、\*\*、\*\*\*分别表示在 10%、5%、1% 的程度上显著。残差项用辖区面积(平方公里)进行加权。

上述发现已经揭示出火电厂排放的二氧化硫可以引发严重的公共健康问题。但气体排放百分比意义上的提高所导致的健康问题从政策含义上来说还不够直观。因此,我们将表 4 中的被解释变量二氧化硫排放量由对数换成绝对值并重新估计方程(4),此时获得估计值可以显示导致既定疾病水平的二氧化硫排量增加值。新的结果显示二氧化硫排放每增加 100 万吨,可以导致万人中死于呼吸系统疾病人数增加 0.5 人,死于肺癌人数增加 0.3 人。

#### (四)医疗费用成本的测算

结合上文发现及历年二氧化硫排放量,表 5 计算了 2000 年以来由于该气体排放在全国范围内造成的生命损失及相关治疗费用。从中可以发现每年由于二氧化硫排放导致的生命损失在 18 万人左右,相关治疗费用超过 3000 亿元。需要注意的是,由于肺癌从发病到死亡的一般年限约为 13.65 个月(吴新悦等,2009),本表计算过程没有考虑这种滞后效用。但考虑到该病种死亡率较高,因此对总费用的估算结果影响不大。

虽然在整体样本时期以上实证分析清楚地显示出火电厂二氧化硫排放对公共健康的负面作用,但我们并不了解这种作用在时间上的分布情况。基于这种考虑,我们在方程(4)中引入了“二氧化硫排放量”和“距离此时期第一座火电厂修建的时间”交互项。图 3 展示了该交互项估计系数及相应的 95% 的置信区间。其对照组是在火电厂修建前气体排放对公共健康的作用。从图中我们发现气体排放对呼吸系统疾病死亡人数的作用比电厂修建前要高 0.05—0.06,同时这种作用主要集中在电厂修建后的 3 年。

表 5 气体排放与公共健康(生命损失及治疗费用估计)

年份	二氧化硫排放量(万吨)	导致呼吸性疾病死亡人数	导致肺癌死亡人数	呼吸性疾病相关费用(亿元)	肺癌相关费用(亿元)	费用总计(亿元)
2000	2007.1	100355	60213	2883	50	2934
2001	1948.0	97400	58440	2798	49	2847
2002	1926.6	96330	57798	2768	48	2816
2003	2158.5	107925	64755	3101	54	3155
2004	2254.9	112745	67647	3239	56	3296
2005	2549.4	127470	76482	3662	64	3726
2006	2588.7	129435	77661	3719	65	3784
2007	2468.1	123405	74043	3546	62	3607
2008	2321.3	116065	69639	3335	58	3393
2009	2214.4	110720	66432	3181	55	3237
2010	2185.1	109255	65553	3139	55	3194

注:呼吸性疾病治疗相关费用 2009 年为 2109 元(周鑫等,2010;侯新华等,2010;夏伟等,2012)。呼吸系统治病治疗费用等于(呼吸性疾病死亡人数/该病种死亡率)×平均指标费用,其中呼吸系统疾病死亡率为每 10 万人 73.4 人,该数值为 2002—2009 年平均值(刘佳、蔡亚平,2012)。肺癌治疗相关费用来自田虹等(2004)。

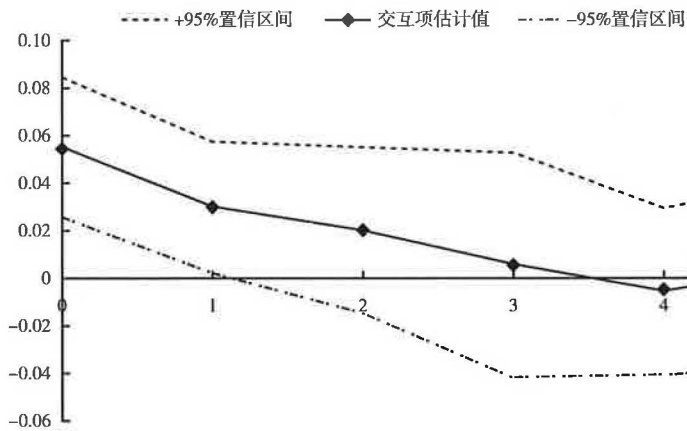


图 3 气体排放与公共健康:跨时变化

## 六、结论

基于全国 161 个地级市 5 年的面板数据,并采用三阶段最小二乘法克服气体排放的内生性问题,本文试图实证检验火电厂二氧化硫排放对公众健康的影响。我们发现有害气体排放显著地损害了居民的公共健康水平。一般来说二氧化硫排放量每增加 1%,万人中死于呼吸系统疾病的人数将增加 0.055,死于肺癌的人数将增加 0.005。就绝对水平来说,二氧化硫排放每增加 100 万吨,万人中死于呼吸系统疾病人数和肺癌人数会分别增加 0.5 和 0.3 人。同时,该负面作用在电厂修建后的 3 年内最大。

本文的发现的学术价值和现实意义在于:就公共卫生及医学领域来说,虽然为数众多的文献致力于探索癌症的致病因素,但现有研究大都致力于探究癌症发病的个体(医学)层面原因,较少关注地区性影响因素。因此,本文探索的地区产业政策及工业布局的潜在环境成本及影响将有效弥

补现有文献的不足。其次,长期以来,工业布局期初选址决策过程中的出发点和侧重点均集中在经济效益上而对潜在公共健康影响考虑不足,近年来频繁发生的由于建厂威胁周边环境而导致当地居民群体性事件的发生已经威胁到基层社会稳定。对产业政策和公共健康关系的实证考察可以在此基础上估算出特定政策的环境健康成本及影响。将这些参数纳入决策者考量范围无疑有助于提高公共政策的质量和效率,从而降低不稳定因素增进社会和谐,也响应了党的“十八大”报告中“建设环境友好型社会”的精神。

#### 参考文献

- 陈晓、陈亚琼、侯海燕、王丹,2012:《天津地区空气污染与围生儿死亡和出生缺陷的关系》,《国际妇产科学杂志》第3期。
- 参考消息,2013:《北京连日雾霾引发公众忧虑》,1月11日。
- 侯新华、张海英、李秀云,2010:《下呼吸道感染直接经济损失的病例对照研究》,《中华医院感染学杂志》第14期。
- 黄纪帅,2010:《探讨我国癌症死亡率持续增长与癌症高发的原因》,《新财经(理论版)》第5期。
- 黄韻宇、刘桦、陈文、熊先军,2011:《医保结算方式对我国城镇地区基本医疗保险恶性肿瘤参保患者治疗费用的影响分析》,《中国卫生经济》第10期。
- 林伯强、刘希颖,2010:《中国城市化阶段的碳排放:影响因素和减排策略》,《经济研究》第8期。
- 林坚、孟伟、黄韻宇、陈文、熊先军,2011:《城镇恶性肿瘤参保患者住院医疗费用分析》,《中国医疗保险》第4期。
- 刘汉伟,2005:《恶性肿瘤死亡对人口平均期望寿命的影响》,《中国卫生统计》第3期。
- 刘佳、蔡亚平,2012:《2002—2009年中国大陆城乡居民死因分析》,《中国卫生统计》第4期。
- 李小飞、张明军、王圣杰、赵爱芳、马潜,2012:《中国空气污染指数变化特征及影响因素分析》,《环境科学》第6期。
- 李树、陈刚,2013:《环境管制与生产率增长》,《经济研究》第1期。
- 毛晓茜,2011:《湖南省空气污染现状及防治对策》,《中国环境管理》第3期。
- 乔晓楠、段小刚,2012:《总量控制、区际排污指标分配与经济绩效》,《经济研究》第10期。
- 宋桂香、江莉莉、陈国海、陈秉衡、张蕴晖、赵耐青、蒋颂辉、阚海东,2006:《上海市大气气态污染物与居民每日死亡关系的时间序列研究》,《环境与健康杂志》第23卷第5期。
- 宋马林、王舒鸿,2013:《环境规制、技术进步与经济增长》,《经济研究》第3期。
- 世界卫生组织,2013:《实况报告》第297号, <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs297/zh/index.html>。
- 田虹、余祖新、韩彩雀,2003:《5624例癌症住院费用统计分析》,《中国卫生质量管理》第6期。
- 王燕侠、牛静萍、丁国武、Noordin MM2、陈晓燕,2008:《兰州市大气污染对青春期青少年肺功能的影响》,《环境与健康杂志》第24卷第6期。
- 王锋、冯根福、吴丽华,2013:《中国经济增长中碳强度下降的省区贡献分解》,《经济研究》第8期。
- 吴新悦、张城敏、葛秀平、凌颖、李海英、康万里,2009:《北京市1272例原发性肺癌生存时间及影响因素调查分析》,《北京医学》第31卷第1期。
- 徐冠华,2011:《乌兰浩特地区大气污染成因与防治对策研究》,《北方环境》第4期。
- 夏伟、陈庆华、李放军、彭国文、郑敏、高君、刘燕敏,2012:《730例流行性感冒样病例经济负担研究》,《中国疫苗和免疫》第6期。
- 新华社,2013:《北京顶级污染PM2.5指数濒临“爆表”》,张森森,1月12日电, [http://www.chinadaily.com.cn/micro-reading/dzh/2013-01-13/content\\_8015271.html](http://www.chinadaily.com.cn/micro-reading/dzh/2013-01-13/content_8015271.html)。
- 杨敏娟、潘小川,2008:《北京市大气污染与居民心脑血管疾病死亡的时间序列分析》,《环境与健康杂志》第25卷第4期。
- 杨海兵、葛明、洪梅、贾秋放、华一江、倪攀、陆学奎、陆颂文,2010:《苏州市恶性肿瘤日死亡率与大气主要污染物的关系》,《环境与职业医学》第6期。
- 袁富华,2010:《低碳经济约束下的中国潜在经济增长》,《经济研究》第8期。
- 殷文军、彭晓武、宋世震、李宁、余素君,2012:《广州市空气污染与城区居民心脑血管疾病死亡的时间序列分析》,《环境与健康杂志》第6期。
- 严志君、罗芳,2012:《中西医结合治疗儿童哮喘急性发作40例临床观察》,《中国中医急症》第6期。
- 张伟、吴文元,2011:《基于环境绩效的长三角都市圈全要素能源效率研究》,《经济研究》第10期。
- 中国疾病预防控制中心,2010:《全国疾病监测系统死因监测数据集(2008)》,人民卫生出版社。
- 周鑫、吴正虎、吴矛,2010:《肺炎患者住院费用及影响因素分析》,《当代医学》第28期。
- 赵乾杰、张军、于莉、安国安、陈珂、孔海燕、张兰真,2012:《“十一五”河南省城市环境空气污染特征及原因分析》,《环境科学

与管理》第10期。

郑荣寿、张思维、吴良有、李光琳、赵平、赫捷、陈万青 2012:《中国肿瘤登记地区 2008 年恶性肿瘤发病和死亡分析》,《中国肿瘤》第 1 期。

朱平芳、张征宇、姜国麟, 2011:《FDI 与环境规制: 基于地方分权视角的实证研究》,《经济研究》第 6 期。

Almond, Douglas, Yuyu Chen, Michael Greenstone, and Hongbin Li, 2009, "Winter Heating or Clean Air? Unintended Impacts of China's Huai River Policy", *American Economic Review: Papers and Proceedings*, 99(2), 184—190.

Bell, ML, and DL Davis, 2001, "Reassessment of the Lethal London Fog of 1952: Novel Indicators of Acute and Chronic Consequences of Acute Exposure to Air Pollution", *Environmental Health Perspective*, 109(3), 389—394.

Brunekreef, Bert, and Stephen T Holgate, 2002, "Air Pollution and Health", *Lancet*, 360(9341), 1233—1242.

Crémieux, Pierre Yves, Marie Claude Meilleur, Pierre Ouellette, Patrick Petit, Martin Zelder, and Ken Potvin, 2005, "Public and Private Pharmaceutical Spending as Determinants of Health Outcomes in Canada", *Health Economics*, 14(2), 107—116.

Chen, Yuyu, Ebenstein Avraham, Michael Greenstone, and Hongbin Li, 2013, "Evidence on The Impact of Sustained Exposure to Air Pollution on Life Expectancy from China's Huai River Policy", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United State of America*, 1, 1—6.

Chen, Yuyu, Ginger Zhe Jin, Naresh Kumar, and Guang Shi, 2013, "Gaming in Air Pollution Data? Lessons from China", NBER Working Paper No. 18729.

General US Surgeon, 2006, "The Health Consequences of Involuntary Exposure to Tobacco Smoke: A Report of the Surgeon General", Washington, DC: Department of Health and Human Services.

Hoek, G., B. Brunekreef, S. Goldbohm, P. Fischer, and P. Brandt, 2002, "Association between Mortality and Indicators of Traffic-related Air Pollution in the Netherlands; a Cohort Study", *Lancet*, 360, 1203—1209.

Kagawa, Jun, 2002, "Health Effects of Diesel Exhaust Emissions—a Mixture of Air Pollutants of Worldwide Concern", *Toxicology*, 181, 349—353.

Künzli, Nino, Michael Jerrett, Wendy J. Mack, Bernardo Beckerman, Laurie LaBree, Frank Gilliland, Duncan Thomas, John Peters, and Howard N. Hodis, 2012, "Ambient Air Pollution and Atherosclerosis in Los Angeles", *Environmental Health Perspectives*, 113(2), 201—206.

Levy, Leo, and Allen Herzog N., 1974, "Effects of Population Density and Crowding on Health and Social Adaptation in the Netherlands", *Journal of Health and Social Behavior*, 228—240.

Lee, JT., H. Kim, YC. Hong, HJ. Kwon, J. Schwartz, and DC. Christiani, 2000, "Air Pollution and Daily Mortality in Seven Major Cities of Korea, 1991—1997", *Environmental Research*, 84, 247—254.

Lozano, Rafael, Mohsen Naghavi, Kyle Foreman, Stephen Lim, Kenji Shibuya, Victor Aboyans, and Christopher JL. Murray, 2012, "Global and Regional Mortality from 235 Causes of Death for 20 Age Groups in 1990 and 2010: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2010", *Lancet*, 380(9859), 2095—2128.

Marmot, Michael, 2005, "Social Determinants of Health Inequalities", *Lancet*, 365(9464), 1099—1104.

McMichael, Anthony J., Rosalie E. Woodruff, and Simon Hales, 2006, "Climate Change and Human Health: Present and Future Risks", *Lancet*, 367(9513), 859—869.

Nyberg, F., P. Gustavsson, L. Järup, T. Bellander, N. Berglind, R. Jakobsson, and G. Pershagen, 2000, "Urban Air Pollution and Lung Cancer in Stockholm", *Epidemiology*, 11, 487—495.

Nixon, John, and Philippe Ulmann, 2006, "The Relationship between Health Care Expenditure and Health Outcomes", *European Journal of Health Economics*, 7(1), 7—18.

Pope 3<sup>rd</sup>, CA., RT. Burnett, MJ. Thun, EE. Calle, D. Krewski, K. Ito, and GD. Thurston, 2002, "Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution", *Journal of the American Medical Association (JAMA)*, 287, 1132—1141.

Peel, Ennifer L., Paige E. Tolbert, Mitchel Klein, Kristi Busico Metzger, W. Dana Flanders, Knox Todd, James A. Mulholland, P. Barry Ryan, and Howard Frumkin, 2005, "Ambient Air Pollution and Respiratory Emergency Department Visits", *Epidemiology*, 16(2), 164—174.

Wang, Haidong, L. Dwyer-Lindgren, KT Lofgren, JK Rajaratnam, JR Marcus, A Levin Rector, CE Levitz, AD. Lopez, and CJ. Murray, 2012, "Age-specific and Sex-specific Mortality in 187 Countries, 1970—2010: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2010", *Lancet*, 380(9859), 2071—2094.

(下转第 183 页)

## The Rise of China's Coastal Areas: Power of Market

Wei Qian<sup>a</sup>, Wang An<sup>b</sup> and Wang Jie<sup>c</sup>

(a: Shandong University; b: Shandong Academy

of Macroeconomic Research; c: Ping An International Financial Leasing Co., Ltd.)

**Abstract:** Since the reform and opening up, China has experienced rapid economic growth, which could be called "wonders of the world". In this process, a significant feature was that the economic development of coastal areas was much faster than inland areas. What factors have led to the rise of China's coastal areas? By constructing two complementary indicators of marketization, we empirically investigate the importance of market development in the rise of China's coastal areas, under the control of capital, nature resources, infrastructure construction and preferential policies. The panel data of China's 28 provinces from 1985 to 2010 were used. Especially, to get a more credible result, we conducted a variety of robustness tests. Results showed us that market factors have played a crucial role in the rise in China's coastal areas.

**Key Words:** Rise of China's Coastal Areas; Economic Growth; Marketization Index; Index of Market Integration

**JEL Classification:** E65, O11, O53

(责任编辑:郑健)(校对:曹帅)

(上接第169页)

World Bank, 2007, "Cost of Pollution in China: Economic Estimates of Physical Damages", <http://www.worldbank.org/eap/environment>.

World Bank, 2013, Development Indicators, <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators/>.

## Air Pollution and Public Health: Evidence from Sulfur Dioxide Emission of Coal-fired Power Stations in China

Chen Shuo<sup>a</sup> and Chen Ting<sup>b</sup>

(a: School of Economics, Fudan University;

b: Division of Social Science, Hong Kong University of Science and Technology)

**Abstract:** Using prefectural panel data from China, this paper attempts to empirically test the impact of air pollution on public health. Resorting to 3SLS to handle the potential endogenous problem in sulfur dioxide emission, this paper finds significant negative effects of air pollution on public health: 1% increase in gas emission will lead to an increase in death from respiratory diseases and lung cancer per 10,000 by 0.055 and 0.005 respectively. As to absolute magnitude, every one million increase in sulfur dioxide emission will bring out an increase in death from respiratory diseases and lung cancer per 10,000 by 0.5 and 0.3 respectively. In sum, death and economic cost due to sulfur dioxide emission each year are 180 thousand and 300 billion RMB respectively.

**Key Words:** Air Emission; Public Health; Sulfur Dioxide; Environment

**JEL Classification:** I12; O10

(责任编辑:詹小洪)(校对:曹帅)