

空气污染与心肺疾病死亡率

林立国（上海财经大学经济学院、高等研究院）

汪恒（上海财经大学经济学院）

周脉耕（中国疾病预防控制中心）

刘世炜（中国疾病预防控制中心）

2015.12

摘要：基于2004-2012年死因监测周报数据、气象日报和空气污染指数日报面板数据，我们采用了固定效应模型及工具变量的方法估计了空气污染对我国心肺疾病死亡率的影响。我们通过风速变化来解释空气污染状况的变化，进而观察到心肺疾病死亡率的变化，从而克服了因为度量偏差和遗漏变量问题可能导致的估计偏差，并明确了空气污染和心肺疾病死亡率之间的因果关系。我们的研究表明：霾等级（无霾、轻微、轻度、中度和重度霾）和空气污染等级（优、良好、轻污染、中度和重污染）对心肺疾病死亡风险有显著影响；特别地，30日平均的霾和空气污染等级每恶化一级将导致随后一周每十万人因心肺疾病死亡人数分别上升2.62人和3.74人；而对于60岁以上的老人，该数值则为分别上升29.36人和32.68人。换言之，霾和空气污染对心肺疾病死亡率有持续影响，例如：持续一周的重污染天气会导致未来一个月内每周每十万60岁以上的老年人因心肺疾病死亡人数上升32.68人。对于1岁以下的儿童，霾和空气污染不仅仅有持续的影响，更有即时的影响，例如：周平均霾等级每恶化一级就导致当周每十万人因呼吸系统感染死亡增加2.81人。

关键词：霾、空气污染、心肺疾病死亡率

JELcode: C23, I15, Q51

一、引言

近一段时间以来，特别是随着空气质量信息的实时发布及雾霾预警系统的建立，严重的空气污染及其健康影响已经引起了民众的极大关注。事实上，伴随着我国经济的高速增长，空气污染问题早已凸显。空气污染对我国民众的健康有多大影响？从医学的角度来讲，毫无争议空气污染和健康非常相关。例如，世界卫生组织（WHO）发布的《全球疾病负担2010年报告》指出PM2.5已成为影响中国公众健康的第四大危险因素。朱悦等（2008）、王慧文等（2003）、陆应昶等（2003）、张燕萍等（2007）、杨敏娟和潘小川（2008）和钟南山（2011）都揭示了空气污染显著增加了沈阳、江苏及北京等地的呼吸系统疾病、心脑血管和肺癌的死亡风险。然而，这一类医学的研究，通常只考察了空气污染和这些疾病死亡风险的相关性，而缺少它们之间因果关系的论证。

最近Chenet.al（2013）利用淮河以南以北因为冬季供暖带来的空气质量差异，来估计空气污染对我国居民预期寿命和相关疾病死亡率的影响。他们的结论表明中国北方居民因冬季取暖产生空气污染而比南方居民人均寿命少5.5年。他们指出健康寿命与居住在淮河以南以北没有直接关联，但因为淮河以北地区冬季需要取暖，取暖用燃煤带来空气中悬浮颗粒物增加，从而影响了以北地区居民的健康寿命，由此明确了空气中悬浮颗粒物对健康寿命的因果

关系。当然该研究也存在局限性，例如，他们的研究采用的是横截面数据。虽然他们收集了20年间（1981-2000）各地每年的悬浮颗粒物浓度数据及10年间（1991-2000）全国疾病监测系统（DSP）监测区县的死因监测死亡率数据，但是他们的分析采用了这些年度数据的平均值（即横截面数据，共125个地区的观测值）。横截面数据的问题在于无法识别同一地区因为空气质量变动而带来的健康影响，同样也无法克服因不可观测或缺失地区固定相关指标而带来的估计偏差。

还有识别了空气污染和健康影响因果关系的文献，如，陈硕和陈婷（2014）讨论了煤炭储量丰富的地区通常火电厂的数量也较多，因此当地二氧化硫排放量也更大，进而通过观察煤炭储量丰富地区的呼吸系统疾病和肺癌的死亡率也较高，从而来明确二氧化硫排放和疾病死亡率之间的因果关系。他们的分析表明一个城市二氧化硫年排放每增加100万吨，其呼吸系统疾病和肺癌的每年每万人死亡人数增加0.5和0.3人。当然由于依然使用年度数据及采用城市二氧化硫排放量作为当地空气质量状况的度量，其分析存在一定的局限性。

研究其他国家空气污染健康影响的文献包括Currie & Walker（2009）研究了自动电子收费系统的安装对于居住在收费站附近的新生儿的健康影响，他们发现新系统的安装使得居住在收费站2公里之内的新生儿早产率和体重过低比率分别下降了10.8%和11.8%，原因是自动收费系统降低了过往车辆的尾气排放；Arceo-Gomez et. al（2015）分析了空气污染对墨西哥婴儿死亡率的影响，其研究表明：空气中一氧化碳的浓度每增加十亿分之一，每周每十万个出生婴儿中的死亡人数将显著增加0.0046人；PM10的浓度每增加1毫克每立方米，每周每十万个出生婴儿中的死亡人数将显著增加0.23人。还有其他的文献不一一列举。

本文基于2004-2012年死因监测周报数据、气象日报和空气污染指数（API）日报面板数据，并采用了固定效应模型及工具变量的方法估计了空气污染对我国心肺疾病（即：呼吸系统感染、慢性阻塞性肺疾病、缺血性心脏病和脑血管疾病四种疾病）死亡率的影响。我们通过风速变化来解释空气污染状况的变化，进而观察到心肺疾病死亡率的变化，从而克服了因为度量偏差和遗漏变量问题可能导致的估计偏差，并明确了空气污染和心肺疾病死亡率之间的因果关系。我们的研究表明：霾等级（无霾、轻微、轻度、中度和重度霾）和空气污染等级（优、良好、轻污染、中度和重污染）对心肺疾病死亡风险有显著影响；特别地，30日平均的霾和空气污染等级每恶化一级将导致随后一周每十万人因心肺疾病死亡人数分别上升2.624人和3.736人，而每十万60岁以上老人死亡人数则相应分别上升29.363人和32.68人。换句话说，霾和空气污染对心肺疾病死亡率有持续影响，例如：持续一周的重污染天气，相对于空气质量优的情形而言，将会导致未来30日内每周每十万60岁以上的老年人因心肺疾病死亡人数上升32.68人。对于1岁以下的儿童，霾和空气污染不仅仅有持续的影响，更有即时的影响，例如：周平均霾等级每恶化一级就导致当周每十万人因呼吸系统感染死亡增加2.81人。也就是说，一周中有两天为中度霾以上的天气，相对于这两天为无霾的天气而言，会导致当周每十万1岁以下的新生儿因呼吸系统感染死亡增加超过2.81人。

我国的空气污染多发在秋冬季节，且有持续时间长、影响范围广的特点。根据环保部的统计，2013年1月份江苏、北京、浙江、安徽、山东月平均雾霾日数分别为23.9天、14.5天、13.8天、10.4天、7.8天，当月中央气象台多次发布霾预警¹，华北地区持续笼罩在严重霾天气之下，如：河北保定当月更是有超过20天空气重度污染²；根据疾病预防控制中心统计，2013年持续大规模的雾霾污染范围涉及了17个省市自治区四分之一的国土面积，影响人口约6亿³。结合我们的研究结论，毫无疑问霾和空气污染在短期内就带给我们巨大的健康成本。

对比现有的文献，本文的研究有几个特点：首先，本文采用了周频率的数据，数据集包

¹http://www.js.xinhuanet.com/2013-12/30/c_118754810.htm；<http://www.envir.gov.cn/info/2013/1/129466.htm>

²参见空气质量指数（AQI）数据。

³http://www.chinacdc.cn/zxdt/201309/t20130929_88729.htm

含近6万个观测值。对于研究空气污染的健康影响而言，严重的空气污染可能在极短时间内就造成巨大的健康损失，例如：发生在1952年12月5日到9日间伦敦的严重空气污染，导致该地区当周的死亡人数达到此前几周平均死亡人数2.5倍以上⁴；特别是对于发病周期短、致死率高的心肺疾病，空气污染可能是一个重要的诱因，例如，杨敏娟和潘小川（2008）利用2003年北京市城区居民疾病死亡和空气污染状况的数据发现北京市空气污染和人群心脑血管疾病死亡率相关，空气污染对人群健康存在短期影响。结合周频率数据的特点，我们收集了发病率和短期空气污染密切相关的四种疾病的死亡率数据，分别是：呼吸系统感染、慢性阻塞性肺疾病、缺血性心脏病和脑血管疾病。根据2011年死因监测统计数据⁵，这四种疾病在所有的死因统计中超过50%。因此，我们的研究是对现有的采用年度数据的相关研究的必要补充。其次，面板数据集的特征允许我们能够采用基于面板数据的固定效应模型及工具变量的方法，从而避免因度量偏差和忽视了某些无法观测到的、可能对健康带来影响的死因监测站点固定特征（如：饮食习惯、气候条件、地理条件等）带来的估计偏差；并明确了空气污染和心肺疾病死亡率之间的因果关系。再次，我们采用霾、空气能见度和API指数的指标来度量空气污染的程度，相对于悬浮颗粒物和二氧化硫排放量，这些指标能更综合地反映空气污染的状况。最后，本文还进一步分析了空气污染对儿童和老年人心肺疾病死亡风险的影响。通过对受空气污染易感人群的分析，进一步论证了空气污染的健康危害。

文章的剩余部分包括：第二部分数据介绍、第三部分实证分析与估计结果和第四部分结论。

二、数据介绍

本文的研究所涉及的数据包括心肺疾病死因监测数据、气象数据、空气污染数据、和地区经济发展数据。

1、心肺疾病死因监测数据

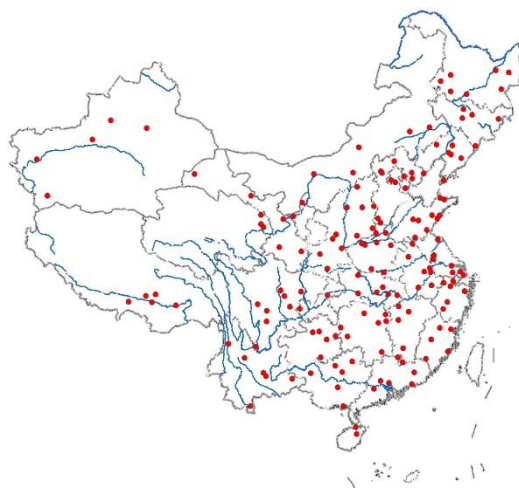
心肺疾病死因监测数据来自DSP全国疾病监测系统⁶。DSP系统于1978年设立，目的是收集民众健康状况，为制定疾病预防控制政策提供科学决策依据。在监测点（区县）的选取上，根据多阶段分层整群随机抽样原则，在1990年和2004年分别进行了两次调整。2004年调整后共有161个监测点（区县），覆盖全国31个省级行政区（见图1），总监测人口超过7000万，约占全国人口的6%。

图1 疾病监测系统监测点分布

⁴见 Bell & Davis (2001); Pedersen et. al (2013)。

⁵见全国疾病监测系统死因监测数据集 2011。

⁶数据来源：国家疾病预防控制中心慢病中心



DSP 系统提供了从 2004 年到 2012 年每周各监测点分性别、分年龄段，因呼吸系统感染、慢性阻塞性肺疾病、缺血性心脏病和脑血管疾病四种疾病所引起的死亡数及死亡率数据。表 1 给出了这四种疾病分性别的周死亡率均值和方差。可以看出，在这四种疾病中，脑血管病的死亡率最高，慢性阻塞性肺疾病和缺血性心脏病次之。某些疾病的平均死亡率在性别间存在着明显的性别差异，如慢性阻塞性肺病的十万人死亡率男性比女性高 20 个点的情况；而缺血性心脏病也存在着男性比女性高 16 点的现象。表 2 给出了这四种疾病分年龄和性别的周死亡率均值和方差。各种疾病的死亡率存在着显著的年龄差异：除呼吸系统系统感染外，其它疾病都是 60 岁以上年龄组死亡率最高，1-15 岁年龄组死亡率最低；而呼吸系统感染则是 1 岁以下儿童死亡率最高，16-60 岁年龄组死亡率最低。

表 1：2004-2012 年分性别因心肺疾病每周每十万人死亡人数统计（下同）

统计量	男性		女性		所有人群	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
呼吸系统感染	0.243	0.515	0.234	0.508	0.238	0.404
慢性阻塞性肺疾病	1.231	1.281	1.021	1.178	1.128	1.067
缺血性心脏病	1.335	1.262	1.171	1.187	1.254	1.062
脑血管病	2.643	1.826	211.18	1.575	2.383	1.428
心肺疾病合计	5.508	3.011	4.59	2.708	5.058	2.541

注：由于个别时点数据缺失，心肺疾病合计死亡率均值与四种疾病死亡率均值之和不等，表 2 相同。

表 2：2004-2012 年分性别和年龄组因心肺疾病每周每十万人死亡人数统计

年龄组	统计量	男性		女性		所有人群	
		均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
0 岁	呼吸系统感染	2.234	13.792	2.021	13.527	2.108	10.063
	慢性阻塞性肺疾病	0.0199	1.111	0.012	0.832	0.0161	0.6999
	缺血性心脏病	0.017	1.198	0.014	1.124	0.0155	0.827
	脑血管病	0.094	3.634	0.061	2.303	0.0786	2.216
	心肺疾病合计	2.284	13.489	2.056	13.259	2.157	9.897
1-15 岁	呼吸系统感染	0.052	0.417	0.047	0.429	0.0498	0.312
	慢性阻塞性肺疾病	0.002	0.066	0.001	0.041	0.001	0.040
	缺血性心脏病	0.008	0.157	0.004	0.126	0.006	0.102
	脑血管病	0.015	0.288	0.009	0.222	0.012	0.182
	心肺疾病合计	0.074	0.514	0.059	0.483	0.067	0.366

16-60 岁	呼吸系统感染	0.046	0.294	0.027	0.234	0.037	0.193
	慢性阻塞性肺疾病	0.247	0.590	0.155	0.478	0.201	0.414
	缺血性心脏病	0.579	0.841	0.282	0.569	0.433	0.553
	脑血管病	1.084	1.313	0.621	1.022	0.856	0.908
	心肺疾病合计	1.969	1.822	1.090	1.371	1.536	1.291
60 岁以上	呼吸系统感染	2.074	5.708	1.907	4.728	1.987	3.970
	慢性阻塞性肺疾病	13.719	15.715	10.609	13.759	12.075	12.343
	缺血性心脏病	11.733	12.323	10.772	11.603	11.232	10.013
	脑血管病	24.434	19.510	19.025	15.974	21.612	14.272
	心肺疾病合计	52.393	31.306	42.741	27.021	47.338	24.937
不分年龄段	呼吸系统感染	0.243	0.515	0.234	0.508	0.238	0.404
	慢性阻塞性肺疾病	1.231	1.281	1.021	1.178	1.128	1.066
	缺血性心脏病	1.335	1.262	1.171	1.187	1.254	1.062
	脑血管病	2.643	1.826	2.112	1.575	2.383	1.428
	心肺疾病合计	5.508	3.011	4.590	2.708	5.058	2.541

2、气象数据

本文的研究使用的气象数据包括温度、湿度、降雨量、风速和能见度数据。温度、湿度和降雨量等因素和死亡风险相关。通常情况下，温度越低，老年人因为呼吸道疾病的死亡风险也越高；而由于降水带来的湿度增加，可能会导致空气中含氧量降低，引起心脑血管疾病的死亡风险增加。由于冬季独特的特征，如逆温，取暖等现象，冬季的心肺疾病死亡率也往往较高，因此我们也考虑了冬天虚拟变量这一因素。能见度则是反映大气透明度的指标，是指一个观测者运用肉眼所能从地平线背景中分辨出黑色物体的最远距离。能见度是常用的空气污染度量的指标，比如：美国国家航空航天局（NASA）基于卫星收集的能见度数据提供了全球空气污染PM2.5浓度的情况⁷；我国关于霾的分级划分标准及预警等级就以能见度作为重要指标。

我们的气象数据来自美国国家海洋和大气管理局（NOAA）的地面气象资料数据集⁸和国家气象中心气象数据集。NOAA数据集收集了全球地面气象站点每日能见度、风速、温度等气象数据；而国家气象中心气象数据集则在NOAA数据集的基础上提供了我国气象站点每日的平均降雨量和湿度数据⁹。我们将这两个来源的气象数据进行合并得到从2004年1月1日到2012年12月31日覆盖全国的398个气象站点的能见度、降雨量、温度、风速和湿度数据。在此基础之上本文还计算了冬季虚拟变量：按照气象学定义，从连续5天的平均气温低于10摄氏度的第一天开始就正式进入冬季，如果一周有4天及以上属于冬季，本文就定义该周的冬季虚拟变量为1，否则为0。表3给出了这些气象数据的统计信息。

表3：气象数据数理统计

统计量	均值	标准差
周能见度(公里)	15.40	6.88
风速(公里/时)	13.15	5.36
降雨量(0.1毫米)	24.18	46.74
湿度(%)	65.37	15.66
温度(0.1℃)	133.39	114.53
冬季虚拟变量	0.36	0.48

⁷来源：<http://www.nasa.gov/topics/earth/features/health-sapping.html>

⁸来源：<ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/g sodand>

⁹虽然NOAA的数据集也提供了降雨量和湿度的数据，但是多数数据观测值缺失。

由于气象数据是日观测数据，为了和 DSP 死因监测周频率数据相一致，我们将日气象数据计算了周平均值。同时我们也按照 DSP 监测点和气象站点的地理位置进行匹配。我们的匹配原则是将 DSP 监测点与距离该监测点（区县）行政中心 50 公里范围内最近的气象站点进行匹配；如果在 100 公里范围内没有气象站点，则该 DSP 监测点无匹配。在全部 161 个 DSP 站点中，共有 139 个站点获得匹配，22 个站点无匹配。图 2 以云南省为例给出了 DSP 观测县区和相应的匹配站点。

图 2 云南省 DSP 观测点与气象站点匹配示意图



3、空气质量的度量及数据

在空气污染的度量方面，常见指标除了前述的能见度指标、还有空气污染指数（API）和空气质量指数（AQI）。

能见度是霾分级及预警的首要指标，特别是在较低湿度的情形，能见度是霾分级与预警的唯一指标。依据霾的观测与预报等级气象国家标准：当湿度小于 80% 时，能见度低于 10 公里，即被判定为霾日，随着能见度的降低，依次分为从轻微到重度霾等级（见表 4）¹⁰；当湿度大于 80% 的情况下，如果 PM2.5 的浓度超过 75 微克每立方米，即未达空气质量二级以上标准，则也被判定为霾日。对霾日的判定，在湿度大于 80% 的情况下，不能仅仅依靠能见度指标，需要考察 PM2.5，其原因在于需要排除因为降水、雾天和阴天等天气带来能见度较低并非有霾发生的情况。

表 4：霾等级划分表（湿度 80% 以下）

霾	
能见度(公里)	等级
0—2	重度霾
2—3	中度霾
3—5	轻度霾
5—10	轻微霾
>10	无霾

来源：霾的观测与预报等级气象国家标准 QX/T113-2010

由于我国的 PM2.5 指标是在 2014 年后开始全面监测的，与 DSP 的数据在时间跨度上无法匹配。给定 2004 年到 2012 年各 DSP 点每周气象观测数据，我们按照符合平均湿度 80% 以下，参照表 4 的标准，采用平均能见度指标将空气质量从无霾到重度霾进行评级（轻微霾

¹⁰在同样的湿度低于 80% 的条件下，霾的黄色、橙色和红色预警分别对应能见度 3 公里、2 公里和 1 公里的标准。

及其以上我们统称为霾日)；如果平均湿度大于 80%，由于缺失 PM2.5 的数据，因此无论能见度高低，我们都将其划入无霾的空气质量等级。在这样空气质量等级界定的基础上，表 5 提供了 DSP 监测点在霾日和无霾日心肺疾病周平均死亡率。显然，对所有的四种心肺疾病而言，在霾日的死亡率均要比非霾日显著得高，平均每周每十万人因心肺疾病死亡率要高 5.514 人。

表 5：霾情况与因心肺疾病每周每十万人死亡人数统计

统计量	霾日	无霾日	差值
合计	5.085	5.030	0.055***
呼吸系统感染	0.248	0.228	0.019***
慢性阻塞性肺疾病	1.138	1.118	0.021***
缺血性心脏病	1.266	1.242	0.024***
脑血管疾病	2.406	2.359	0.046***

注：*表示显著性水平为 0.10，**表示显著性水平为 0.05，***表示显著性水平为 0.01。以后各表均相同，不再一一说明。

上表中的差值，可能会因为我们将湿度大于 80%的霾日归入无霾日等级，而被低估。考虑到我国霾多发的秋冬季节湿度通常比较低的特点，湿度大于 80%以上的情形很可能在霾日占比不高。为了验证这样的判断，我们收集了全国 40 个城市¹¹能见度、湿度和PM2.5日均值的数据，按照霾等级标准，湿度大于 80%的霾日仅占全部霾日的 11.2%。因此我们的处理可能会低估霾对心肺疾病死亡率的影响，但是低估的幅度应该不大。

除了采用特定湿度条件下，通过能见度判定霾等级来评价评价空气质量外，我们还收集了环保部发布的 2004 年到 2012 年全国 62 个大中型城市空气污染指数 (API) 数据。API 指数是从 2000 年 6 月开始在全国大中城市中监测的，该指数综合反映了地区二氧化硫，二氧化氮和 PM10 颗粒物三种污染物的浓度水平，API 指数可以按照数值大小划分为 5 个等级，具体划分可以参见表 6。我们按照 DSP 监测站点所在城市与这 62 个城市进行匹配，共有 44 个 DSP 站点获得匹配。同样我们对日 API 指数取每周平均值，并据此计算了每周的 API 等级。

表 6：API 等级划分表

指数值	空气质量等级
300 以上	重污染
201-300	中度污染
101-200	轻污染
51-100	良好
0-50	优

来源：环保部 API 等级划分标准

以 API 指数度量的空气质量状况与心肺疾病死亡率之间的关系可见表 7。在空气质量较差时 (API 周均值大于 100)，四种心肺疾病死亡率要比空气质量良好时显著得较高，平均每周每十万人每周因心肺疾病死亡率前者比后者要高 0.603 人。就具体疾病来看，四种疾病的死亡率都在空气质量较差时，呈现较高水平；除了呼吸系统感染的死亡率在空气质量较差和较好的情形下不存在统计意义上显著差异外，其他三种疾病的差异非常显著。

表 7：大气污染与因心肺疾病每周每十万人死亡人数统计

统计量	空气质量较差	空气质量良好	差值
合计	4.372	3.768	0.603***

¹¹分布在 23 个省市。

呼吸系统感染	0.232	0.223	0.009
慢性阻塞性肺疾病	0.679	0.560	0.119***
缺血性心脏病	1.534	1.304	0.230***
脑血管疾病	1.916	1.647	0.269***

注：空气质量较差是指 API 值 100 以上，空气质量至少为轻污染级别。

目前常用的空气质量度量的指标还有空气质量指数（AQI），该指数在 API 指数的基础上增加了 PM2.5 颗粒物、一氧化碳和臭氧三种污染物作为评价指标，然而正如前述该指数是从 2014 年才开始编制的，与 DSP 死因监测数据在时间上无法匹配。

4、经济发展数据

考虑到心肺疾病死亡率不但与空气质量和气象因素有关，也与各地的发展水平相关，本文收集了各地的人均 GDP 和人均床位数数据，这些数据均是以年度为单位。资料来自于《中国县域经济统计年鉴》和《中国区域经济统计年鉴》，部分地区数据有缺失，主要集中在西藏地区。人均 GDP 数据均以 2004 年为基期进行了平减处理。表 8 给出了这两个指标的数理统计。

表 8：经济发展数据数理统计

统计量	均值	标准差
人均实际 GDP（元）	25706	24476
人均床位数（床/万人）	37.76	23.52

三、实证分析与估计结果

这一部分我们将通过实证模型来分析空气质量对健康的影响。我们将采用简单 OLS 模型和工具变量模型的方法来估计霾和 API 等级对心肺疾病死亡率的影响。

1、霾等级与心肺疾病死亡率—基于 OLS 模型的分析

我们首先有一个简单的 OLS 模型：

$$Deathrate_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 haze_{i,t} + \Gamma_1 X_{i,t} + \Gamma_2 T_t + \Gamma_3 Z_{i,y} + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

式中的因变量为 $Deathrate_{i,t}$ ，指每种疾病在观测点 i 第 t 周的死亡率。 $haze_{i,t}$ 是在观测点 i 第 t 周平均霾等级，我们首先按照 80% 以下湿度条件下对照表 3 中能见度指标，将每日从无霾到重度霾对应的等级赋值 1 到 5 级，再取周平均从而得到平均霾等级，等级上升意味着霾的天气状况恶化。 $X_{i,t}$ 代表其他气象因素，包括周平均降雨量，平均温度，平均湿度和冬季虚拟变量¹²； T_t 是时间相关的控制变量，包括当年周次、时间趋势 t 及年份固定效应，当年周次用来控制可能存在的周期性因素，时间趋势用来控制随着时间推移而变化的因素，而年份固定效应则控制可能无法观测到的年度差异。 $Z_{i,y}$ 为年度经济发展数据，即：人均实际 GDP 和人均床位数¹³。我们控制了 DSP 站点固定效应，表 9 给出了估计结果。

从表 9 中可以看出，周平均霾等级每上升一级，该周每十万人因心肺疾病死亡人数就要上升 0.105 人，其中呼吸道系统感染，慢性阻塞性肺疾病和脑血管疾病的死亡人数分别会显著上升 0.008，0.037 和 0.04 人，但霾的等级对于缺血性心脏病则没有显著的影响。其他气象因素对于心肺疾病死亡率也有显著影响：降雨量越少，气温越低，心肺疾病的死亡率就会越高，原因可能是降水少、气温低更容易诱发心肺疾病；相对湿度越大，心肺疾病死亡率也

¹²当周如果有超过 4 天进入气象意义上的冬季，则取值为 1，即冬季。

¹³我们对人均实际 GDP 和人均床位数两变量取对数。

越高；湿度增大对慢性阻塞性肺炎的死亡率有显著地影响；秋冬季节，特别是冬季由于其低温的气候特点，心肺疾病死亡率往往较高。心肺疾病的死亡率时间趋势明显，随着时间推移，总体呈现下降趋势。人均床位数与人均 GDP 对于心肺疾病死亡率的影响要分情况来看，呼吸系统感染的死亡率与医疗条件和社会发展呈负相关，经济发展水平越低的地区，医疗条件较为有限，呼吸系统感染的死亡率也越高；而其它疾病则恰恰相反，尤其是心脑血管疾病表现最为突出，经济发展水平越高的地区心脑血管的死亡率也越高，心脑血管病是有名的“富贵病”。除了平均霾的等级外，我们同样也分析了霾发生频率对心肺疾病死亡率的影响，即（1）式中 $haze_{i,t}$ 也指在观测点 i 第 t 周中霾日（即轻微霾等级及以上）发生的频率，估计结果和平均霾等级类似（估计结果见附录）。

表 9：心肺疾病死亡率与霾等级（OLS）

	呼吸系统感 染	慢性阻塞性 肺疾病	缺血性心 脏病	脑血管疾 病	心肺疾病 合计
周平均霾等级	0.0079* (0.0047)	0.0372*** (0.0138)	0.0209 (0.018)	0.0402* (0.0222)	0.105** (0.041)
周平均降雨量	-1.072*** (0.322)	-5.235*** (0.99)	-5.702*** (1.024)	-10.612*** (1.48)	-22.813*** (3.022)
周平均温度	-0.845*** (0.212)	-4.755*** (0.901)	-3.91*** (0.79)	-5.538*** (1.21)	-14.862*** (2.869)
周平均湿度	0.158 (0.123)	1.071* (0.627)	0.707 (0.58)	0.687 (0.707)	2.584 (1.928)
冬季虚拟变量	4.203*** (0.688)	32.00*** (3.156)	30.04*** (2.776)	44.30*** (4.163)	112.2*** (9.393)
当年周次	-0.134*** (0.0176)	-0.719*** (0.0633)	-0.418*** (0.0503)	-0.542*** (0.0795)	-1.825*** (0.165)
时间趋势	1.139 (0.855)	-11.836*** (1.849)	4.622** (2.233)	-12.487*** (2.581)	-18.237*** (4.989)
人均床位数	-4.937* (2.560)	17.85** (7.228)	3.490 (6.872)	24.76*** (9.407)	41.04*** (15.63)
人均 GDP	-2.771 (2.574)	5.176 (6.400)	25.49*** (7.373)	34.65*** (9.710)	60.95*** (17.07)
年份固定效应	Y	Y	Y	Y	Y
站点固定效应	Y	Y	Y	Y	Y
观测值	59495	59495	59495	57229	57229
Adjust R2	0.017	0.129	0.129	0.100	0.191

注：方差采用聚类处理，下同

上述结论表明周心肺疾病死亡率受到当周霾发生情况的显著影响。除了同期的霾发生情况外，持续性的霾或其他气象条件也会带来心肺疾病发病率的增加。因此，我们在模型（1）的基础上，增加了包括该周前 30 天平均霾等级和前 30 天的气象因素等变量¹⁴，结论见表 10。从表 10 中可以看出，周平均霾等级每上升一级，会导致该周每十万人因心肺疾病死亡人数会显著上升 0.0597 人；而前 30 天平均霾等级每上升一级，会导致该周每十万人因心肺疾病的死亡人数显著上升 0.106 人，这一结果表明持续暴露在空气污染中对于心肺疾病的死亡率有显著影响。从具体疾病来看，前 30 天平均霾等级，和当周平均霾等级一样，对该周

¹⁴我们对计入周观测第 1 天（即：星期一）的前 1 天到前 30 日的气象观测数据取平均值。

的四类心肺疾病死亡率都有正的影响；特别是对慢性阻塞性肺疾病和缺血性心脏病的死亡率有显著影响；前 30 天平均霾等级每上升一级，导致该周每十万人因这两种病的死亡人数就会显著提高 0.036 人和 0.042 人。

表 10：心肺疾病死亡率与霾暴露风险（OLS）

	呼吸系统感 染	慢性阻塞 性肺疾病	缺血性心 脏病	脑血管疾 病	心肺疾病 合计
周平均霾等级	0.0064 (0.0041)	0.0227* (0.0116)	0.0079 (0.0152)	0.0229 (0.0193)	0.0597* (0.0342)
前 30 天平均霾等 级	0.0045 (0.0056)	0.0363* (0.0197)	0.0417* (0.0213)	0.0275 (0.027)	0.106* (0.0555)
周平均降雨量	-0.957*** (0.276)	-3.716*** (0.780)	-4.533*** (0.874)	-7.928*** (1.166)	-17.271*** (2.277)
周平均温度	-0.725*** (0.203)	-3.705*** (0.774)	-3.064*** (0.689)	-4.277*** (1.087)	-11.618*** (2.492)
周平均湿度	0.138 (0.110)	0.885* (0.504)	0.557 (0.483)	0.481 (0.583)	2.025 (1.558)
冬季虚拟变量	2.762*** (0.638)	22.41*** (2.199)	21.85*** (2.127)	33.82*** (3.086)	82.52*** (6.737)
一年第几周	-0.115*** (0.0187)	-0.590*** (0.0606)	-0.306*** (0.0534)	-0.404*** (0.0872)	-1.422*** (0.176)
时间趋势	1.124 (0.854)	-11.835*** (1.84)	4.448** (2.242)	-12.683*** (2.575)	-18.589*** (5.036)
前 30 天平均降雨 量	-0.303 (0.721)	-6.663*** (2.179)	-4.11** (1.72)	-15.824*** (3.216)	-27.255*** (6.02)
前 30 天平均湿度	1.945* (1.071)	9.175*** (2.601)	5.314** (2.064)	11.55*** (3.635)	28.04*** (6.476)
前 30 天平均温度	0.120 (0.0952)	-0.166 (0.300)	-0.796** (0.316)	-0.832 (0.626)	-1.711* (0.935)
前 30 天冬季虚拟 变量 ¹⁵	0.341 (0.965)	5.705** (2.187)	7.985*** (2.099)	3.101 (3.371)	17.01*** (5.571)
平均床位数对数	-5.007** (2.525)	18.38** (7.303)	3.326 (6.894)	24.69*** (9.203)	41.10*** (15.60)
人均 GDP 对数	-2.653 (2.587)	5.357 (6.488)	25.77*** (7.499)	36.10*** (9.630)	63.24*** (17.35)
年份固定效应	Y	Y	Y	Y	Y
站点固定效应	Y	Y	Y	Y	Y
观测值	59059	59059	59059	56810	56810
Adjust R2	0.017	0.128	0.132	0.101	0.194

2、霾等级与心肺疾病死亡率—基于工具变量（IV）的模型分析

OLS 模型可能会因为度量偏差和遗漏变量产生内生性问题，由此带来估计的偏差。例如：由于霾等级和心肺疾病死亡率都是按照以周为区间取值，可能发生死亡病例在前，霾发生在后的度量偏差；心肺疾病死亡率还可能受到室内污染，烟草消费等不可观测的因素的影

¹⁵如果这 30 天内有 15 天及以上进入气象意义上的冬季，则取值为 1，即冬季。

响，带来遗漏变量的问题。此外，OLS 模型在明确霾等级与心肺疾病死亡率的因果关系方面也存在局限。按常用的方法，我们通过寻找工具变量来解决这些问题。合适的工具变量的标准是与残差项无关而与内生变量霾等级高度相关的变量。按照这一标准，我们选取了平均风速作为工具变量，没有证据表明风速的高低会直接影响心肺疾病的死亡率，但是风速的高低与霾等级高度相关。一般而言，在霾天气时，风速的增大有助于霾的扩散，即风速越大，霾的等级越低，因此，我们将风速作为工具变量。利用这一工具变量，我们可以更加准确地估计霾等级对于心肺疾病死亡率的影响。相应的估计方程为：

$$haze_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 wind_{i,t} + \Pi_1 X_{i,t} + \Pi_2 T_t + \Pi_3 Z_{i,y} + \epsilon_{i,t} \quad (2)$$

$$Deathrate_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \widehat{haze}_{i,t} + \Gamma_1 X_{i,t} + \Gamma_2 T_t + \Gamma_3 Z_{i,y} + \epsilon_{i,t} \quad (3)$$

我们首先通过 (2) 式，采用风速 (变量 $wind_{i,t}$) 及 (1) 式中其他自变量对霾等级进行回归，得到霾等级的拟合值 ($\widehat{haze}_{i,t}$)，再将该值代入 (3) 式中，得到霾等级对心肺疾病死亡率影响的准确估计。类似地，对前 30 天平均霾等级，我们采用同期 30 天平均风速作为工具变量。

上述回归的结果可见表 11。表 11 中第一列给出了第一步回归的结果。从中可以发现平均风速对于霾的等级有着很强的解释力。周平均风速每增加一公里，能使得当周霾的等级显著下降 0.012 等级，即风速的增加能够显著改善霾污染情况；而前 30 天平均风速的系数与之类似。这些解释变量的显著性水平均在 1% 以下，这意味着单变量的 F 值远大于 10，该工具变量不存在着弱工具变量问题，这一结果也与我们的日常经验一致。

表 11 第 (2) 列则给出了几种疾病的具体两步回归结果。这些结果表明，前 30 天平均霾等级每上升一级，将使得该周每十万人因心肺疾病死亡人数显著增加 2.624 人，具体而言，因呼吸系统感染、慢性阻塞性肺炎、缺血性心脏病和脑血管疾病死亡人数分别显著提高 0.1884 人，1 人，0.5144 人和 0.8274 人；而周平均霾等级每上升一级，该周每十万人因呼吸系统感染死亡人数会提高 0.0959 人。总体而言前 30 天暴露风险带来的死亡率影响要明显大于当周空气污染的影响。相对而言，OLS 模型低估了霾等级对心肺疾病死亡率的影响。

表 11：心肺疾病死亡率与霾等级 (IV)

	(1) 第一步回归		(2) 第二步回归				
	周平均霾等级	前 30 天平均霾等级	呼吸系统感染	慢性阻塞性肺疾病	缺血性心脏病	脑血管疾病	心肺疾病合计
周平均风速	-0.0120*** (0.00146)						
前 30 天平均风速		-0.0125*** (0.00211)					
周平均霾等级			0.0959* (0.0516)	0.0382 (0.0125)	-0.0092 (0.117)	0.1689 (0.175)	0.2684 (0.335)
前 30 天平均霾等级			0.0189** (0.0087)	1.0003*** (0.0261)	0.5144** (0.241)	0.8274** (0.323)	2.624*** (0.667)
周平均降雨量	-5.427*** (0.949)		-0.545 (0.374)	-3.677*** (1.03)	-4.809*** (1.044)	-7.348*** (1.463)	-16.697*** (2.74)
周平均温度	-0.663*** (0.239)		-0.588*** (0.188)	-3.434*** (0.777)	-2.935*** (0.691)	-3.910*** (0.011)	-10.706*** (2.448)
周平均湿度	0.214 (0.135)		0.092 (0.097)	0.800* (0.466)	0.525 (0.469)	0.365 (0.545)	1.746 (1.439)
冬季虚拟变量	0.0239*** (0.00767)		2.408*** (0.637)	21.398*** (2.112)	21.53*** (2.024)	32.54*** (2.971)	79.52*** (6.365)
前 30 天平均降雨	-9.104***	-11.227**	2.303*	3.211	5.745	-6.164	0.369

	(1.507)	(2.082)	(1.218)	(3.906)	(3.557)	(5.148)	(10.828)
前 30 天平均湿度	3.951***	3.691***	0.8999	4.958*	3.728	8.607**	18.013**
	(1.196)	(1.126)	(1.098)	(2.573)	(2.353)	(4.048)	(7.218)
前 30 天平均温度	-0.00083	-0.0102	0.088	-0.301	-0.850**	-0.942	-2.048**
	(0.0013)	(0.128)	(0.0879)	(0.282)	(0.335)	(0.606)	(0.922)
前 30 天冬季虚拟 变量	-0.0011	0.042***	-0.161	3.291	6.178***	0.243	9.064
	(0.0091)	(0.0098)	(0.965)	(2.047)	(2.18)	(3.462)	(5.601)
一年第几周	0.000166	-0.000439**	-0.123***	-0.597***	-0.319***	-0.429***	-1.474***
	(0.000174)	(0.000199)	(0.0198)	(0.0603)	(0.055)	(0.09)	(0.179)
时间趋势	9.104**	1.47	0.665	-13.33***	3.588	-14.247***	-23.034***
	(1.507)	(1.014)	(0.895)	(1.881)	(2.235)	(2.744)	(5.134)
人均床位数对数	-0.0260	-0.0207	-4.293*	20.72***	3.883	26.70***	46.95***
	(0.0217)	(0.0247)	(2.564)	(7.133)	(6.757)	(9.108)	(15.36)
人均 GDP 对数	-0.0640**	-0.0533*	-1.199	10.00	28.38***	40.96***	76.93***
	(0.0275)	(0.0294)	(2.734)	(6.710)	(7.481)	(10.21)	(17.50)
年份固定效应	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
站点固定效应	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
观测值	58473	59059	58473	58473	58473	56247	56247
调整的可决系数	0.045	0.046	0.017	0.130	0.132	0.103	0.197

为了考察霾对不同年龄组人群心肺疾病死亡率的影响，我们分别针对不同年龄组做了分析，结果见表 12。结果表明，霾等级对 1 岁以下新生儿童和 60 岁以上老人心肺疾病死亡率的影响最为显著。当周和前 30 天平均霾等级每上升一级，会导致该周每十万 1 岁以下儿童因心肺疾病死亡人数分别增加 2.751 人和 4.378 人。而对于 60 岁以上老人，前 30 天平均霾等级每上升一级将导致该周每十万 60 岁以上老人因心肺疾病死亡人数增加 29.363 人。分病种来看，对于 1 岁以下儿童，当周平均霾等级每上升一级显著地导致该周每十万 1 岁以下儿童因呼吸系统感染死亡人数增加 2.81 人；对于 60 岁以上老年，四种心肺疾病的死亡风险都受到霾的显著影响。

表 12：不同年龄组心肺疾病死亡率与霾等级（IV）

		年龄分组			
		0 岁	1-15 岁	16-60 岁	60 岁以上
呼吸系统感染	周平均霾等级	2.81**	-0.000221	0.0104	0.2697
		(1.298)	(0.028)	(0.0208)	(0.368)
慢性阻塞性肺疾病	前 30 天平均霾等级	3.643*	0.0321	0.0429	1.606**
		(1.981)	(0.039)	(0.0307)	(0.731)
缺血性心脏病	周平均霾等级	0.0568	0.0049*	-0.0205	1.142
		(0.0696)	(0.0027)	(0.039)	(1.236)
脑血管	前 30 天平均霾等级	0.155	-0.0053	0.3106***	10.093***
		(0.122)	(0.00343)	(0.094)	(2.807)
脑血管	周平均霾等级	0.0171	0.0023	0.0837	-0.4144
		(0.0566)	(0.0087)	(0.0607)	(1.024)
脑血管	前 30 天平均霾等级	0.0612	0.0185	0.0594	6.084***
		(0.065)	(0.0125)	(0.112)	(2.322)
脑血管	周平均霾等级	0.0856	0.0068	-0.0045	1.656

疾病	级	(0.196)	(0.0165)	(0.0923)	(1.535)
	前 30 天平均	-0.0504	-0.0206	0.114	10.697***
	霾等级	(0.331)	(0.0233)	(0.139)	(3.31)
	周平均霾等	2.751**	0.0202	0.0414	2.541
心肺疾	级	(1.331)	(0.0338)	(0.142)	(2.957)
病合计	前 30 天平均	4.378**	0.0318	0.5847**	29.363***
	霾等级	(2.07)	(0.053)	(0.239)	(6.783)
	站点固定效应	Y	Y	Y	Y
	年份固定效应	Y	Y	Y	Y

我们也分析了霾等级分别对男性和女性群体心肺疾病死亡率的影响，他们差别不大（估计结果见附录）。

3、API 污染指数等级与心肺疾病死亡率—基于工具变量（IV）的模型分析

我们同样也采用 API 污染指数等级来评价空气质量，空气质量等级的取值按照表 6 的 API 分级标准从优、良好、轻污染、中度污染和重污染分别赋值 1 到 5 级，等级上升意味着空气污染的恶化。基于每日的分级得到周平均 API 空气污染等级和过去 30 天平均 API 空气污染等级。类似地，我们采用风速作为工具变量对 API 空气污染等级对心肺疾病死亡率的影响做了估计。结果见表 13，从（1）列的结论可以发现，在控制当期气象因素和其它变量后，API 等级与风速高度负相关，当周平均风速每提高一公里，该周平均 API 等级就会下降 0.013 个单位；前 30 天的结果与之类似。这些解释变量的显著性水平均在 1% 以下，这意味着单变量的 F 值远大于 10，该工具变量不存在着弱工具变量问题。从表中第（2）列结论可以发现，当周平均 API 等级对心肺疾病死亡率无显著影响，而前 30 天平均 API 等级则对该周的心肺疾病死亡率有非常显著的影响，例如：就心肺疾病总体而言，前 30 天平均 API 等级每提高一个等级，该周的每十万人因心肺疾病死亡人数就会显著增加 3.736 人；对呼吸系统和心脑血管的四类疾病都有非常显著的影响。

表 13：API 污染等级与心肺疾病死亡率 2SLS 估计结果

	(1) 第一步回归		(2) 第二步回归				
	周平均 API 等级	前 30 天平均 API 等级	呼吸系统感染	慢性阻塞性肺疾病	缺血性心脏病	脑血管疾病	心肺疾病合计
周平均风速	-0.013*** (0.00433)						
前 30 天平均风速		-0.00919*** (0.00115)					
周平均霾等级			-0.081 (0.055)	0.0127 (0.102)	-0.242 (0.178)	0.112 (0.179)	-0.215 (0.364)
前 30 天平均霾等级			0.445** (0.208)	1.078** (0.444)	0.955** (0.4499)	1.242** (0.541)	3.736*** (1.134)
周平均降雨量	-12.8*** (1.41)		-2.566*** (0.816)	-1.192 (1.504)	-9.278*** (2.906)	-6.227** (2.490)	-19.99*** (5.567)
周平均温度	-1.97* (1.05)		-0.712* (0.361)	-1.777* (0.903)	-6.061*** (2.171)	-3.690* (1.840)	-12.03** (4.628)
周平均湿度	0.618 (1.14)		0.747** (0.294)	1.000* (0.520)	4.638** (2.028)	2.113* (1.245)	8.375** (3.471)
冬季虚拟变量	-0.974 (2.16)		0.371 (0.926)	11.19*** (2.038)	15.62*** (3.016)	18.63*** (3.036)	45.82*** (6.672)

前 30 天平均降雨量	-11.5*** (4.12)	-19.0*** (107)	8.442** (3.897)	17.91** (7.757)	10.05 (10.06)	12.15 (9.408)	47.73** (22.43)
前 30 天平均湿度	10.5*** (3.40)	7.80*** (2.09)	-2.585 (2.146)	-10.50** (5.054)	-3.103 (5.834)	-2.900 (8.600)	-18.82 (16.11)
前 30 天平均温度	0.362 (1.22)	1.89*** (0.58)	0.247 (0.609)	-2.920** (1.124)	-0.237 (1.343)	-1.150 (1.897)	-4.040 (3.585)
前 30 天冬季虚拟变量	10.4*** (3.26)	6.35*** (2.10)	0.690 (2.128)	1.366 (3.052)	3.931 (4.548)	-11.39* (6.671)	-4.825 (9.667)
一年第几周	0.192*** (0.0409)	-0.15*** (0.0224)	-0.0137 (0.0461)	-0.0557 (0.0805)	-0.0124 (0.132)	-0.0385 (0.143)	-0.0819 (0.336)
时间趋势	-3.26 (2.36)	-2.35*** (0.53)	4.382** (1.810)	-7.531** (3.219)	0.598 (6.080)	-10.74** (4.724)	-13.46 (13.09)
人均床位数对数	-3.89 (3.45)	-1.17 (1.96)	1.992 (4.237)	3.393 (5.862)	0.737 (9.774)	-4.659 (7.862)	0.895 (18.93)
人均 GDP 对数	-2.31 (10.2)	-2.90 (2.71)	-3.592 (11.41)	15.51 (15.27)	28.14 (29.32)	10.46 (21.96)	53.25 (61.42)
年份固定效应	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
站点固定效应	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
观测值	13792	12920	13792	13792	13792	13415	13415
调整的可决系数	0.123	0.098	0.035	0.138	0.093	0.106	0.159

我们同样也估计了 API 空气污染等级对不同年龄组心肺疾病死亡率的影响，表 14 给出了相关估计结果。前 30 天平均 API 等级每上升一级，引起随后一周每十万 1 岁以下儿童因心肺疾病死亡人数增加 3.846 人。对于 60 岁以上老年人，四种疾病的死亡风险都受到霾的显著影响；前 30 天平均 API 等级每上升一级将导致该周每十万 60 岁以上老年人因心肺疾病死亡人数增加 32.68 人。该结论和霾等级对心肺疾病死亡率的影响基本一致。

表 14：不同年龄组心肺疾病死亡率与空气污染等级（IV）

		年龄分组			
		0 岁	1-15 岁	16-60 岁	60 岁以上
呼吸系统感染	周平均 API 等级	-0.5199 (0.856)	0.03998* (0.0199)	-0.0262 (0.0204)	-0.621 (0.492)
	前 30 天平均 API 等级	2.161 (1.754)	0.00093 (0.0497)	0.0595 (0.047)	4.048** (1.955)
慢性阻塞性肺疾病	周平均 API 等级	0.228 (0.141)	-0.0016 (0.0011)	-0.01741 (0.0293)	0.1545 (1.121)
	前 30 天平均 API 等级	0.601 (0.496)	-0.0028 (0.0051)	0.1275* (0.071)	9.364* (5.117)
缺血性心脏病	周平均 API 等级	0.00964 (0.055)	-0.0032 (0.012)	-0.1216 (0.072)	-1.457 (1.754)
	前 30 天平均 API 等级	-0.1005 (0.165)	-0.0045 (0.027)	0.1414 (0.212)	7.908* (3.974)
脑血管疾病	周平均 API 等级	0.1329 (0.364)	0.0184 (0.0197)	-0.0175 (0.0896)	1.389 (1.711)

	前 30 天平均 API 等级	0.7774 (0.737)	-0.0562* (0.031)	0.2517 (0.176)	11.147** (5.443)
心肺疾 病合计	周平均 API 等 级	-0.31 (0.994)	0.0588** (0.023)	-0.196 (0.143)	-0.631 (3.338)
	前 30 天平均 API 等级	3.846* (1.975)	-0.0622 (0.0641)	0.5837* (0.337)	32.68** (12.481)
	站点固定效应	Y	Y	Y	Y
	年份固定效应	Y	Y	Y	Y

四、结论

本文基于2004-2012年死因监测周报数据、气象日报和空气污染指数（API）日报面板数据，采用了固定效应模型及工具变量的方法估计了空气污染对我国呼吸系统感染、慢性阻塞性肺疾病、缺血性心脏病和脑血管疾病四种疾病死亡率的影响。我们采用基于空气能见度的霾等级指标和基于API指数的空气污染等级指标度量了空气污染状况。

我们的研究表明：霾和空气污染等级指标对居民心肺疾病死亡风险有显著影响。特别地，30日平均霾和空气污染等级每恶化一级将导致随后一周每十万人因心肺疾病死亡人数分别上升2.624人和3.736人。而对60岁以上的老年人和1岁以内的儿童，他们遭受心肺疾病死亡的风险对霾和空气污染更加敏感：30日平均霾和空气污染等级每恶化一级将导致随后一周每十万60岁以上的老人因心肺疾病死亡人数分别增加29.363人和32.68人；而对1岁以下的儿童，霾和空气污染的影响更是即时的，一周内的平均霾等级每恶化一级就导致当周每十万1岁以下儿童因呼吸系统感染死亡率增加2.81人。由此可见，空气污染极大地增加了居民的健康成本，特别是对60岁以上的老年人和1岁以内的儿童。

参考文献

- 陈硕、陈婷，2014：《空气质量与公共健康：以火电厂二氧化硫排放为例》，《经济研究》第8期。
- 李青春、陆晨，1999：《北京地区呼吸道疾病与气象条件关系的分析》，《气象》第3期。
- 陆应昶、胡晓抒、赵金扣、王培桦、覃玉、武鸣，2003：《江苏省肺癌死亡和大气污染情况地理信息系统的相关性》，《中国肿瘤》第7期。
- 刘升明、王小平、王大礼、周玉民、吕嘉春、郑劲平、钟南山、冉丕鑫，2005：《广东部分地区慢性阻塞性肺疾病发病状况调查》，《中华医学杂志》第11期。
- 单淑香、陈宝元，2005：《慢性阻塞性肺疾病流行病学研究进展》，《国外医学：呼吸系统分册》第6期。
- 世界卫生组织，2006：《世界卫生组织关于颗粒物、臭氧、二氧化氮和二氧化硫的空气质量准则》，http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_chi.pdf。
- 宋宇、唐孝炎、方晨、张远航、胡敏、曾立民、李成才、毛节泰、MICHAEL BERGIN，2003：《北京市能见度下降与颗粒物污染的关系》，《环境科学学报》第4期。
- 王慧文、林刚，2003：《沈阳市大气悬浮颗粒物与心血管疾病死亡率》，《环境与健康杂志》第1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1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。

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4期。

张莉、任国玉，2003：《中国北方沙尘暴频数演化及其气候成因分析》，《气象学报》第6期。

张燕萍、张志琴、刘旭辉、张晓萍、封宝琴、李海平，2007：《太原市颗粒物空气污染与人群每日死亡率的关系》，《北京大学学报(医学版)》第2期。

赵素萍、范慧洁，2000：《气象因素对北京市顺义区居民心脑血管疾病影响的研究》，《中国慢性病预防与控制》第1期。

中国疾病预防控制中心，2013：《全国疾病监测系统死因监测数据集(2011)》，人民卫生出版社。

钟南山，2011：《慢性阻塞性肺疾病在中国》，《中国实用内科杂志》第5期。

朱悦、杨小南、李宇斌，2008：《沈阳市某地区大气污染与儿童呼吸系统疾病门诊人次的关系》，《环境与健康杂志》第7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 :Paperd and Proceedings*, 99(2), 184-190.

Almond, Douglas, Lena Edlund, and Mårten Palme, 2009, "Chernobyl's Subclinical Legacy: Prenatal Exposure to Radioactive Fallout and School Outcomes in Sweden*." *The Quarterly journal of economics*,124(4), 1729-1772.

Arceo, Eva, Rema Hanna, and Paulina Oliva, 2015, "Does the Effect of Pollution on Infant Mortality Differ between Developing and Developed Countries? Evidence from Mexico City." *The Economic Journal* ,

Bell, Michelle L., and Devra Lee 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 perspectives* 109(Suppl 3), 389.

Chen, Yuyu, Ebenstein, Avraham, Greenstone, Michael, and Li, Hongbin, 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* 110(32), 12936-12941.

Chen, Yuyu, Ginger ZheJin, Naresh Kumar, and Guang Shi, 2012."Gaming in Air Pollution Data? Lessons from China". *The BE Journal of Economic Analysis & Policy*, 12(3).

Chen, Yuyu, Ginger ZheJin, Naresh Kumar, and Guang Shi, 2013. "The Promise of Beijing: Evaluating the Impact of the 2008 Olympic Games on Air Quality". *Journal of Environmental Economics and Management*, 66(3), 424-443.

Currie, Janet, and Reed Walker, 2011. "Traffic Congestion and Infant Health: Evidence from E-ZPass." *American Economic Journal: Applied Economics*, 3(1): 65-90.

Ebenstein, Avraham, 2012. "The Consequences of Industrialization: Evidence from Water Pollution and Digestive Cancers in China". *Review of Economics and Statistics*, 94(1), 186-201.

Ghanem, Dalia, and Junjie Zhang, 2014." 'Effortless Perfection:'Do Chinese Cities Manipulate Air Pollution Data?". *Journal of Environmental Economics and Management*, 68(2), 203-225.

Pedersen M, Giorgis-Allemand L, Bernard C, Aguilera I, Andersen A, Ballester F, Beelen R, Chatzi L, Cirach M, Danileviciute A, Dedele A, Eijsden M, Estarlich M, Fernández-Somoano A, Fernández M, Forastiere F, Gehring U, Grazuleviciene R, Gruziova O, Heude B, Hoek G, Hoogh K, Van Den Hooven E, Haberg S, Jaddoe V, Klumper C, Korek M, Kramer U, Lerchundi A, Lepeule J, 2013. "Ambient Air Pollution and Low Birthweight: A European Cohort Study (ESCAPE)". *The Lancet Respiratory Medicine*, 1(9), 695-704.

Pope III, C. A., Thun, M. J., Namboodiri, M. M., Dockery, D. W., Evans, J. S., Speizer, F. E., and Heath Jr, C. W., 1995. "Particulate Air Pollution as a Predictor of Mortality in a Prospective Study of US Adults". *American journal of respiratory and critical care medicine*, 151(3_pt_1), 669-674.

Hoek, G., Brunekreef, B., Goldbohm, S., Fischer, P., and Van Den Brandt, P. A., 2002. "Association Between Mortality and Indicators of Traffic-related Air Pollution in the Netherlands: a Cohort Study". *The lancet*, 360(9341), 1203-1209.

Le Tertre, A., S. Medina, E. Samoli, B. Forsberg, P. Michelozzi, A. Boumghar, J. M. Vonk, A. Bellini, R. Atkinson, J. G. Ayres, J. Sunyer, J. Schwartz, and K. Katsouyanni, 2002. "Short-term Effects of Particulate Air Pollution on Cardiovascular Diseases in Eight European cities". *Journal of epidemiology and community health*, 56(10), 773-779.

Lin, M., Tao, J., Chan, C. Y., Cao, J. J., Zhang, Z. S., Zhu, L. H., and Zhang, R. J. 2012. "Regression Analyses Between Recent Air Quality and Visibility Changes in Megacities at Four Haze Regions in China". *Aerosol and Air Quality Research*, 12(6), 1049-1061.

Sanders, Nicholas J. 2012. "What Doesn't Kill You Makes You Weaker Prenatal Pollution Exposure and Educational Outcomes". *Journal of Human Resources*, 47(3), 826-850.

附录:

表 15: 心肺疾病死亡率与霾发生频率 (OLS)

	呼吸系统感 染	慢性阻塞性 肺疾病	缺血性心 脏病	脑血管疾 病	心肺疾病 合计
周霾天频率	0.00511 (0.00928)	0.0688** (0.0281)	0.0381 (0.0370)	0.102** (0.0440)	0.213** (0.0896)
周平均降雨量	-1.091*** (0.321)	-5.054*** (1.004)	-5.604*** (1.042)	-10.25*** (1.505)	-22.18*** (3.066)
周平均温度	-0.851*** (0.213)	-4.739*** (0.900)	-3.902*** (0.786)	-5.496*** (1.201)	-14.80*** (2.855)
周平均湿度	0.160 (0.124)	1.072* (0.626)	0.708 (0.579)	0.683 (0.703)	2.583 (1.924)
冬季虚拟变量	4.232*** (0.686)	32.05*** (3.150)	30.06*** (2.769)	44.30*** (4.148)	112.3*** (9.369)
一年第几周	-0.134*** (0.0176)	-0.719*** (0.0633)	-0.418*** (0.0503)	-0.542*** (0.0795)	-1.825*** (0.165)
时间趋势	1.150 (0.852)	-11.82*** (1.847)	4.634** (2.234)	-12.49*** (2.580)	-18.20*** (4.983)
人均床位数对	-4.951* (1.951)	17.87** (7.123)	3.494 (2.145)	24.83*** (8.123)	41.13*** (15.123)

数	(2.560)	(7.225)	(6.875)	(9.422)	(15.64)
人均 GDP 对数	-2.800 (2.568)	5.149 (6.397)	25.47*** (7.374)	34.70*** (9.711)	60.92*** (17.06)
年份固定效应	Y	Y	Y	Y	Y
站点固定效应	Y	Y	Y	Y	Y
观测值	59495	59495	59495	57229	57229
Adjust R2	0.017	0.129	0.129	0.100	0.191

表 16: 不同性别不同年龄组心肺疾病死亡率与霾等级 (IV)

		男性				女性			
		0 岁	1-15 岁	16-60 岁	60 岁以上	0 岁	1-15 岁	16-60 岁	60 岁以上
呼吸系统感染	周平均霾等级	3.275* (1.83)	-0.0545 (0.033)	-0.0041 (0.0353)	0.598 (0.545)	3.209* (1.649)	0.0589 (0.0457)	0.0283 (0.0212)	0.0145 (0.4699)
	前 30 天平均霾等级	3.806 (2.791)	0.0762 (0.066)	0.0559 (0.0513)	1.486 (0.92)	3.375* (1.952)	-0.0147 (0.0517)	0.0326 (0.0294)	1.735** (0.864)
慢性阻塞性肺疾病	周平均霾等级	0.01298 (0.106)	0.0088** (0.0038)	-0.0416 (0.069)	1.03 (1.669)	0.1162 (0.099)	0.00101 (0.0041)	0.00133 (0.0484)	1.304 (1.659)
	前 30 天平均霾等级	0.0219 (0.126)	-0.00625 (0.0045)	0.376*** (0.1251)	10.04*** (3.364)	0.3228* (0.1861)	-0.00422 (0.00485)	0.249*** (0.0936)	10.697*** (3.061)
缺血性心脏病	周平均霾等级	0.0192 (0.119)	0.0044 (0.018)	0.2469** (0.1009)	-0.4547 (1.632)	0.0229 (0.0964)	0.0000512 (0.0128)	-0.0706 (0.0835)	-0.679 (1.249)
	前 30 天平均霾等级	0.0904 (0.168)	0.039** (0.0193)	-0.0872 (0.197)	8.871*** (2.892)	0.0166 (0.138)	-0.00343 (0.017)	0.221** (0.101)	3.837 (2.504)
脑血管疾病	周平均霾等级	0.0412 (0.251)	0.0092 (0.031)	-0.0377 (0.1484)	3.643 (2.275)	0.145 (0.269)	0.00715 (0.0149)	0.0401 (0.1088)	0.0491 (1.832)
	前 30 天平均霾等级	0.3405 (0.373)	-0.0083 (0.041)	0.0983 (0.195)	9.577** (4.421)	-0.505 (0.49)	-0.0374 (0.0228)	0.1495 (0.1640)	12.59*** (3.066)
心肺疾病合计	当期周等级	3.426* (1.868)	-0.033 (0.0517)	0.113 (0.214)	5.065 (3.73)	2.838* (1.673)	0.0828 (0.0524)	-0.0114 (0.158)	0.262 (3.577)
	之前 30 天霾等级	4.889* (2.745)	0.123 (0.0939)	0.554 (0.364)	30.697*** (8.725)	3.812* (2.081)	-0.0684 (0.0661)	0.659*** (0.248)	29.922*** (6.089)
站点固定效应		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
年份固定效应		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y

Haze, Air Pollution and Cardiorespiratory Mortality in China

Abstract: Based on 2004-2012 Death Surveillance Points (DSP) weekly reported data, daily meteorological data and daily air pollution index data, we adopt fixed effect estimation model with instrument variable tool to estimate the impact of air pollution on the cardiorespiratory mortality in China. We estimate that deteriorations of both 30 days' average haze and air quality

grades by a single grade (both on a five-grade scale) increases 262.4 and 373.6 deaths (per 10 million people) during the coming week due to the cardiorespiratory disease respectively. For the people with more than 60 years' old, the death numbers climb to 2936.3 and 3268 (per 10 million people) respectively. For the infant less than 1 year old, the impact is instant, for instance, a deterioration of a week's average haze by a single grade leads to additional 281 deaths at that week.

Key words: Haze, Air Pollution, Cardiorespiratory Mortality

JELcode: C23, I15, Q51