

危险的呼吸

PM_{2.5} 的健康危害
和经济损失评估研究

一

研究背景

据中国国家环保部的统计，中国长三角、珠三角、京津冀三大区域的城市群每年出现灰霾污染的天数达到 100 天以上，空气中细颗粒物 ($PM_{2.5}$) 年均浓度超过世界卫生组织 (WHO) 推荐的空气质量标准指导值 2-4 倍¹。 $PM_{2.5}$ 污染，不仅会导致城市大气中出现灰霾现象，对人体更会造成全身性的健康损害。虽然在 2011 年末关于 $PM_{2.5}$ 的公众讨论推动了其被纳入国家新标准，2012 年各地政府在 $PM_{2.5}$ 的信息公开方面都有了不同程度的进步，但中国已经进入了一个污染高发和污染面积日趋扩大的时期。而 $PM_{2.5}$ 何时能治理好、主要来源、如何治理、造成的公众健康损害和经济负担有多少，都尚未有明确的定论。

本研究是国内第一份针对不同城市特点，分别选取上海、广州、西安、北京作为中国东、南、西、北四地区重点城市的研究案例，基于目前国内已有研究成果和作者创新研究，计算出 $PM_{2.5}$ 对这四个城市造成的健康危害和疾病经济负担，并评估在 $PM_{2.5}$ 浓度的不同改善程度情景模式下，可以产生的健康和经济学收益。我们希望这份报告的面世不仅能为中国 $PM_{2.5}$ 的健康经济损失评价的进一步研究提供有益的借鉴，还能让更多的研究者和政策制定者能加入到 $PM_{2.5}$ 影响研究、污染控制的讨论中来。

关键发现



监测和研究数据表明，上海、广州、西安、北京四城市 $PM_{2.5}$ 污染水平对公众健康均造成危害，污染可致心脑血管系统及呼吸系统损伤，增加患癌风险，引发早死；



如果污染水平与 2010 年比并无明显改善，2012 年四城市因 $PM_{2.5}$ 造成的早死人数将共计达到 8572 人，因早死而致的经济损失共计 68 亿元人民币；



假设四城市采取措施有效治理 $PM_{2.5}$ 污染，在 2012 年达到 WHO 空气质量准则标准，则四城市同年因 $PM_{2.5}$ 早死人数可减少 6962 人，降幅达 81%，因早死人数减少获得的经济收益可达 55 亿元人民币；

¹ 环保部环境规划院，《“十二五”重点区域大气污染联防联控规划编制指南》，2011 年 3 月。

二

PM_{2.5} 的健康危害效应

PM_{2.5} 粒径小，比表面积相对大，更易富集空气中各种有毒重金属、酸性氧化物、有机污染物等多种化学物质以及细菌和病毒等微生物，对比 PM₁₀，其对人体健康危害更大。病理学，毒理学已经证实 PM_{2.5} 能对人体造成的健康危害有：



肺部或呼吸系统其它部位损害。PM_{2.5} 携带的重金属和多环芳烃（PAHs）可以深入人体肺泡并沉积，通过促进炎症等反应，对肺部进行损害，造成呼吸系统疾病。



影响心血管系统。PM_{2.5} 所携带的多种有害物质可以通过呼吸系统进入血液循环，影响人体的心血管等系统的正常功能，造成心脑血管疾病。



早死率增加。PM_{2.5} 通过呼吸系统进入人体的过程可以引起暴露人群心脑血管和呼吸系统疾病死亡率的明显增加。



增大罹患癌症风险。PM_{2.5} 所携带的重金属、PAHs 等物质增大了暴露人群的罹患癌症的风险。（参看表 1 世界卫生组织对年均颗粒物空气质量准则的制定依据）

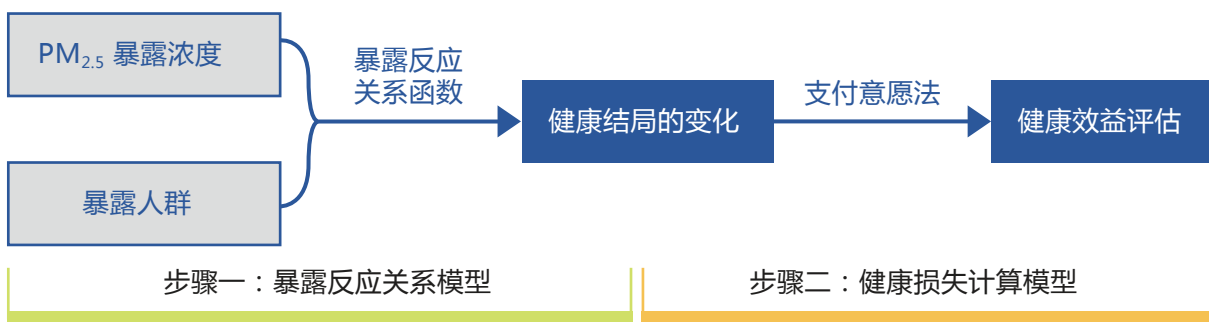
表 1 世界卫生组织对年均颗粒物空气质量准则的制定依据

	PM _{2.5} (ug/m ³)	选择浓度的依据
过渡时期目标 -1 (IT-1)	35	相对于 AQG 水平而言，在这些水平的长期暴露会增加大约 15% 的死亡风险
过渡时期目标 -2 (IT-2)	25	除了其他健康利益外，与过渡时期目标 - 1 相比，在这个水平的暴露会降低大约 6% [2% ~ 11%] 的死亡风险
过渡时期目标 -3 (IT-3)	15	除了其他健康利益外，与过渡时期目标 - 2 相比，在这个水平的暴露会降低大约 6% [2% ~ 11%] 的死亡风险
空气质量准则值 (AQG)	10	对于 PM _{2.5} 的长期暴露，这是一个最低水平，在这个水平，总死亡率、心肺疾病死亡率和肺癌的死亡率会增加（95% 以上可信度）



研究发现—PM_{2.5} 污染所致健康危害、经济损失及治理改善的经济收益

健康危害及经济损失计算模型：



首先将四个城市 PM_{2.5} 历史监测数据（表 2）以及同期疾病控制中心统计的因病死亡数据代入暴露反应关系函数，通过数学计算研究计算先建立四城市 PM_{2.5} 的暴露反应关系数²（表 3）。然后进入第一步骤，这里的 PM_{2.5} 暴露浓度，为计算年（2010 与 2012）四城市年均 PM_{2.5} 浓度值；暴露人群，为四城市计算年（2010 与 2012）常住人口；第一步骤得出四城市计算年（2010 与 2012）早死人数。第二步骤计算出四城市在计算年的经济损失。

支付意愿法是人们为避免特定疾病所愿意付给的货币值。在这里，我们将一个社会为减少污染造成的早死所愿意支付的费用称之为基于支付意愿法的“统计学意义上的生命价值（value of statistical life, VOSL）”。中国已经开展的 VOSL 研究较少，根据有限研究，这里我们采取的 VOSL 为 79.5 万元，较发达国家，该值明显偏小。

表格 2 暴露反应关系模型建立使用 PM_{2.5} 监测数据

城市	PM _{2.5} 研究性监测站点位	监测时间段	监测时间段内 PM _{2.5} 日均值(单位：μg/m ³) (标准差)
北京	北京大学校园内	2006-2008	83.96 (58.28)
上海	浦东区，上海市环境监测中心	2004-2005	56.4 (1.34)
广州	天河区华南环科所内	2006-2009	59.91 (32.57)
西安	中国科学院	2004-2008	176.7 (103.8)

² 暴露反应关系系数表示暴露于某危险因素的人群中，发病风险是非暴露人群的多少倍，大于 1 即为损害关系，系数值越高，则健康影响越大。

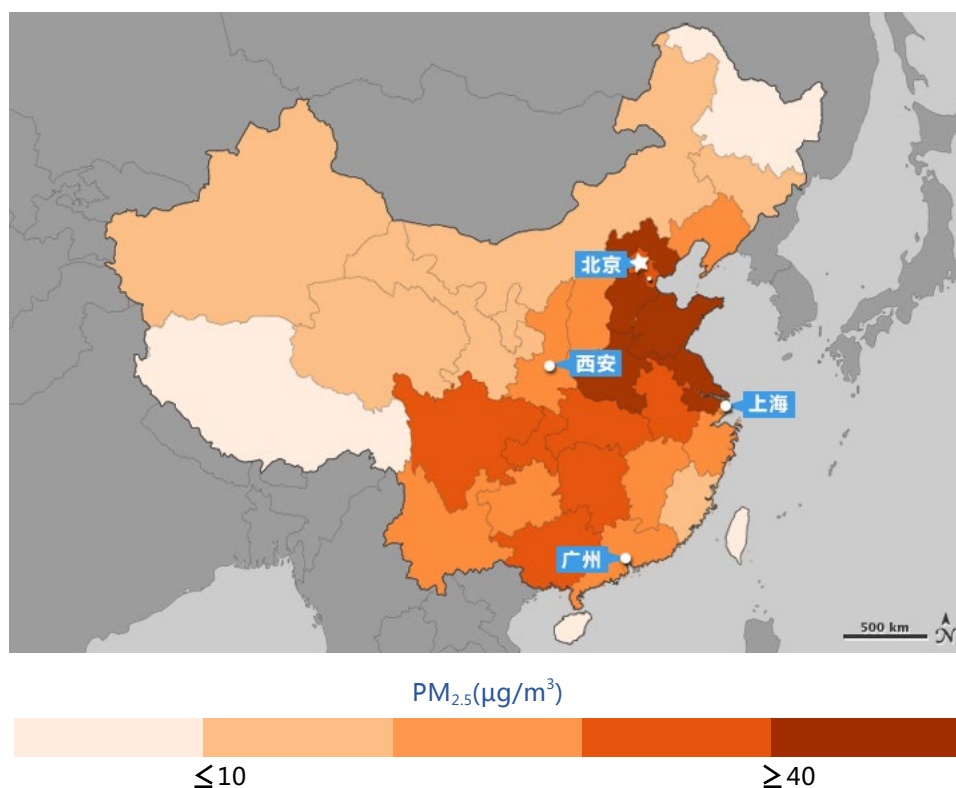
表 3 四城市 PM_{2.5} 的暴露反应关系系数表

城市	健康结局	RR (暴露反应关系系数)	数据来源
北京	非意外死亡	1.002709 (1.000982 , 1.004438)	北京市 06-08 年数据：死亡数据来源于国家疾病预防控制中心，PM _{2.5} 来源于北京大学
	循环系统疾病死亡	1.003465 (1.001034 , 1.005903)	
广州	非意外死亡	1.005648 (1.002182 , 1.009125)	广州市 06-09 数据：死亡数据来源于国家疾病预防控制中心，PM _{2.5} 来源于华南科学研究所
	循环疾病死亡	1.008009 (1.002098 , 1.013955)	
	呼吸系统疾病死亡	1.00867 (1.001341 , 1.016052)	
上海	非意外死亡	1.0036 (1.0011,1.0061)	阚海东等 (2007)
	循环系统疾病死亡	1.0041 (1.0001,1.0082)	
	呼吸系统疾病死亡	1.0095 (0.0016,0.0173)	
西安	非意外死亡	1.002 (1.0007 , 1.0033)	黄薇等 (2012)
	循环系统疾病死亡	1.0027 (1.0008,1.0046)	

括号内数字为 95% 的可信区间

可以看出，北京、上海、广州、西安四城市研究性监测点所测得的历史日均 PM_{2.5} 浓度值均超过中国二级标准，且远超出 WHO 空气质量准则，西安的城市监测点数值甚至超过国家二级标准五倍。由四城市暴露反应关系系数可以得出，PM_{2.5} 对四城市健康结局有显著性影响，即 PM_{2.5} 对四城市的此种健康结局的影响表现为危害作用。

■ 2010 年 PM_{2.5} 所造成的四城市健康危害和经济损失计算

图 1 中国大部分地区 PM_{2.5} 浓度估算 (NASA 估算)³

2010 年的暴露人口按照北京市，上海市，广州市，西安市年常住人口进行估计（参照附表 1）。基于各城市统计年鉴，确定各城市常住人口和不同死亡结局的死亡人数。

2010 年健康经济损失的计算中采用的 $PM_{2.5}$ 浓度值，由于没有完整的研究性监测数据，这里依据 4 个城市各自发布的环境公报为基础，将 PM_{10} 浓度转换为 $PM_{2.5}$ 浓度的转化系数定为 0.60。各城市详细计算结果见表 4。分城市计算结果详见附表 2 至附表 4。

表 4 2010 年 PM_{2.5} 导致健康危害与经济损失表

城市	经 PM ₁₀ 折算得出 PM _{2.5} 浓度 (单位 : μg/m ³)	死亡人数	经济损失 (单位 : 亿元)
北京	72.6	2349	18.6
上海	47.4	2980	23.7
广州	42	1715	13.6
西安	78	726	5.8

³ NASA 对中国 PM_{2.5} 浓度估计的结果表明我国大部分地区的 PM_{2.5} 浓度高于 WHO 推荐的年均值 10μg/m³ 的水平。
<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=77495&src=eoai-iotd>

■ 2012 年 PM_{2.5} 所造成健康危害和经济损失计算与治理效应

虽然 2012 年，四个城市均开始监测发布 PM_{2.5} 数据，但目前尚未有完整的年均浓度统计结果出炉。到本研究截止时，国家环保部的 2011 年环境保护重点城市环境空气质量状况亦未面世。因此，这里假设 2012 年的 PM_{2.5} 浓度保持在 2010 年水平上，将 2012 年人口数量变化代入计算可以得出在污染浓度水平不改变条件下，2012 年 PM_{2.5} 所造成的健康危害和经济损失。

表 5 2012 年污染浓度不变条件下四城市 PM_{2.5} 致死人数以及健康损失

城市	死亡人数	经济损失（单位：亿元）
北京	2589	20.6
上海	3317	26.4
广州	1926	15.3
西安	739	5.9

如果污染水平与 2010 年比并无明显改善，2012 年四城市因 PM_{2.5} 造成的早死人数将达到共计达到 8572 人，因早死而致的经济损失共计 68 亿元人民币；

我们同时计算了通过治理污染，PM_{2.5} 水平下降到国家二级标准 (35μg/m³)、国家一级标准 (15μg/m³) 以及 WHO 标准值 (10μg/m³) (见附表 10) 的不同情景下的公众健康损失削减 (图 2) 和经济收益 (图 3)，分城市详细计算见附表 6 - 9。若能达到 WHO 空气质量准则标准，则四城市同年因 PM_{2.5} 早死人数可减少 6962 人，降幅达 81%，因早死人数减少获得的经济收益可达 55 亿元人民币。

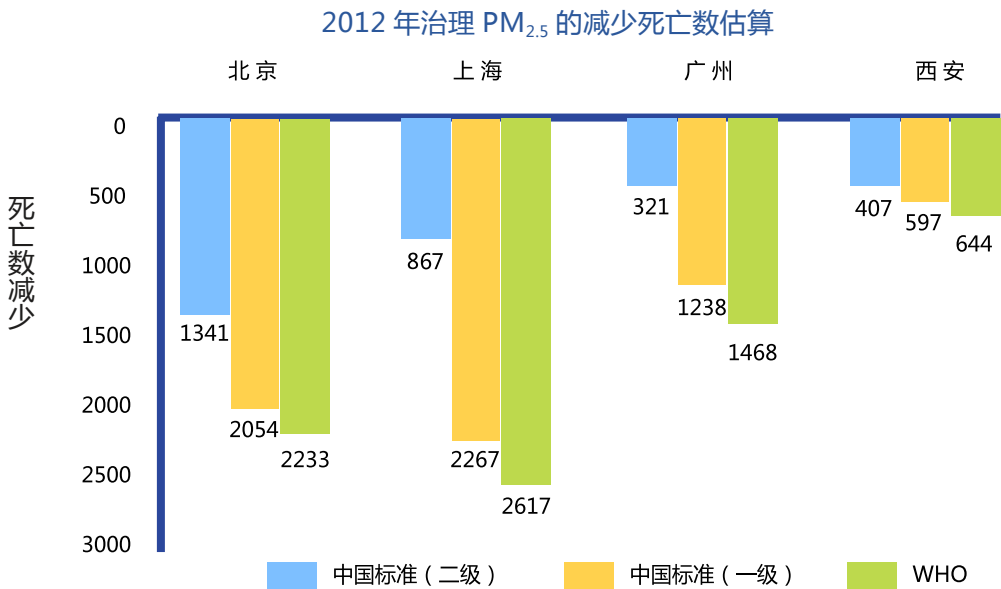


图 2 分别治理到不同标准下的早死人数减少



图 3 分别治理到不同标准下经济收益

A

若污染保持在 2010 年水平，北京市由于 PM_{2.5} 污染造成的总死亡人数在 2012 年为 2589 人，经济损失为 20.6 亿元。若在 2012 年能提前达到国家二级、一级、WHO 空气质量准则标准，则将减少死亡 1341，2054，2233 人，与污染无改善情景死亡人数（2589）相比，死亡人数下降 51.7%，79%，86.2%，相应的经济收益将达到近 11 亿，16 亿，18 亿元。

B

若污染保持在 2010 年水平，上海市由于 PM_{2.5} 污染造成的总死亡人数在 2012 年为 3317 人，经济损失为 26.4 亿元。若在 2012 年能提前达到国家二级、一级、WHO 空气质量准则标准，则将减少死亡 867，2267，2617 人，与污染无改善情景死亡人数（3317）相比，死亡人数下降 26.1%，68.3%，78.9%，相应的经济收益将达到近 6.9 亿，18 亿，21 亿元。

C

若污染保持在 2010 年水平，广州市由于 PM_{2.5} 污染造成的总死亡人数在 2012 年为 1926 人，经济损失为 15.3 亿元。若在 2012 年能提前达到国家二级、一级、WHO 空气质量准则标准，则将减少死亡 321，1238，1468 人，与污染无改善情景死亡人数（1926）相比，死亡人数下降 16.6%，62.4%，76.2%，相应的经济收益将达到近 2.5 亿，9.8 亿，12 亿元。

D

若污染保持在 2010 年水平，西安市由于 PM_{2.5} 污染造成的总死亡人数在 2012 年为 739 人，经济损失为 5.9 元。若在 2012 年能提前达到国家二级、一级、WHO 空气质量准则标准，则将减少死亡 407，597，644 人，与污染无改善情景死亡人数（739）相比，死亡人数下降 55.1%，80.8%，87.1%，相应的经济收益将达到近 3.2 亿，4.7 亿，5.1 亿元。

四

PM_{2.5} 污染来源分析与控制对策

4.1 城市污染源解析显示二次颗粒物污染加重

PM_{2.5} 的成分比较复杂，包括燃烧过程直接排放的细颗粒（一次 PM_{2.5} 粒子），和经由大气污染物经过多相化学反应（即气体经过化学反应转换成了固体，最典型的是二氧化硫、氮氧化物经过反应变成了硫酸盐、硝酸盐）产生的二次颗粒物。早期的 PM_{2.5} 研究注重通过城市 PM_{2.5} 来源解析来研究控制对策，多项研究表明，一次 PM_{2.5} 占比逐渐减少，而二次颗粒物占比加重⁴。图 4 显示了中科院在 2006 年发表北京市 PM_{2.5} 的来源解析结果。可以看到，机动车占比约为 6% 之间；燃煤依然是最主要的一次颗粒物排放来源，占 19% 之间。以硝酸盐、硫酸盐为样本的二次颗粒物占比较大，分别占 14%，17%。

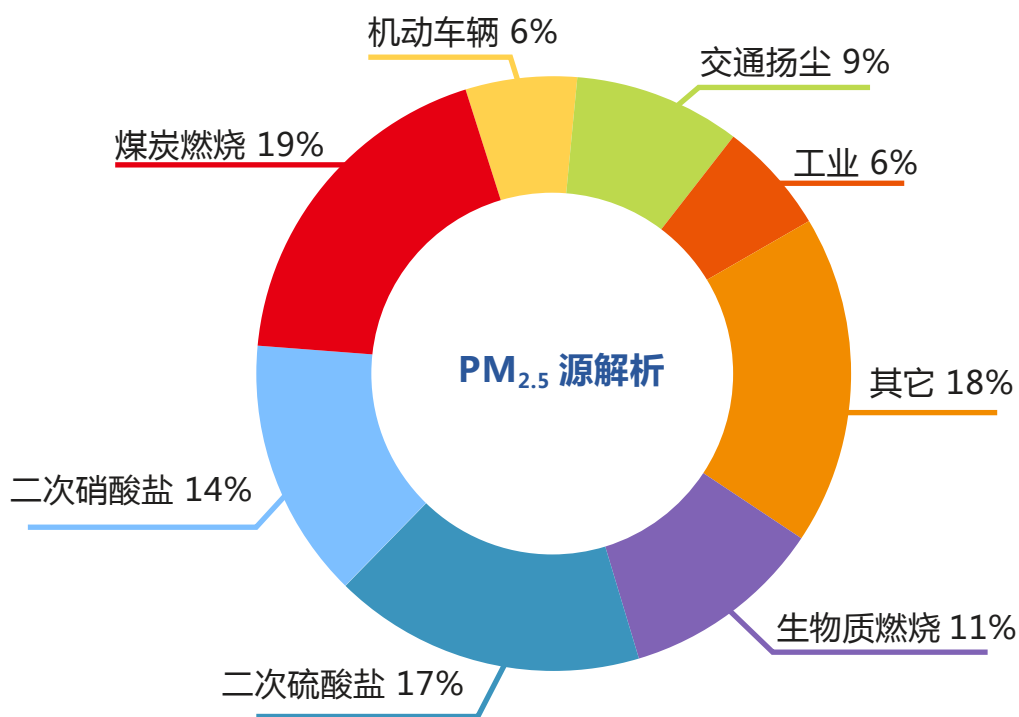


图 4 不同实验组对北京市的 PM_{2.5} 源解析（2005 ~ 2007 年）

⁴ Q.Yao et al: Reprint of : Studies on formation and control of combustion particulate matter in China: A review

4.2 全国、区域排放源清单显示电力与工业为主要污染源

源解析方法为治理 $\text{PM}_{2.5}$ 给出了定性的结论，即治理 $\text{PM}_{2.5}$ 必须要加强对二次颗粒物污染的治理。而对症下药治理 $\text{PM}_{2.5}$ 污染，必须从源头摸清楚排放源清单（即每个行业、企业排放了多少污染物）。虽然中国尚没有一份国家层面的大气污染排放源清单，但学者们已经开始尝试采用不同方法建立国家、区域层面的排放清单，作为区域空气污染联防联控的重要依据。根据赵瑜等在 2012 年发表的研究结果⁵，中国分行业的排放占比如图 5 所示，珠三角、长三角区域排放占比如图 6⁶、图 7⁷ 所示。可以看到，不管是全国的排放源清单、还是区域性的排放源清单，工业与电力都是一次 $\text{PM}_{2.5}$ 、二次 $\text{PM}_{2.5}$ 的主要前体污染物 SO_2 、 NO_x 的主要来源，这主要由于能源供应过度依赖燃煤造成的。

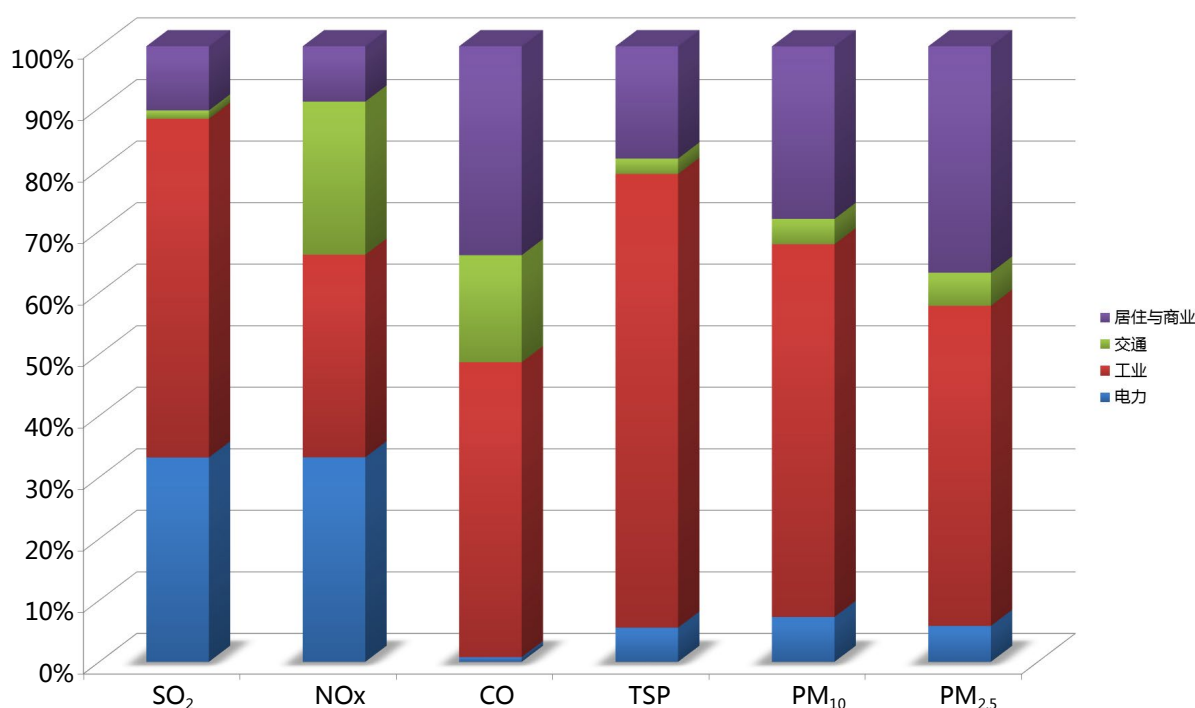


图 5 2010 年中国污染物排放清单行业排放占比⁸

⁵ Zhao, Y., Zhang, J., and Nielsen, C. P.: The effects of recent control policies on trends in emissions of anthropogenic atmospheric pollutants and CO_2 in China, Atmos. Chem. Phys. Discuss., 12, 24985–25036, doi:10.5194/acpd-12-24985-2012, 2012

⁶ C. Huang et al.: Emission inventory of anthropogenic air pollutants and VOC species in the Yangtze River Delta region, China, Atmos. Chem. Phys., 11, 4105–4120, 2011

⁷ Junyu Zheng et al.: A highly resolved temporal and spatial air pollutant emission inventory for the Pearl River Delta region, China and its uncertainty assessment, Atmospheric Environment 43 (2009) 5112–5122

⁸ The effects of recent control policies on trends in emissions of anthropogenic atmospheric pollutants and CO_2 , ACPD, 12, 24985–25036, 2012

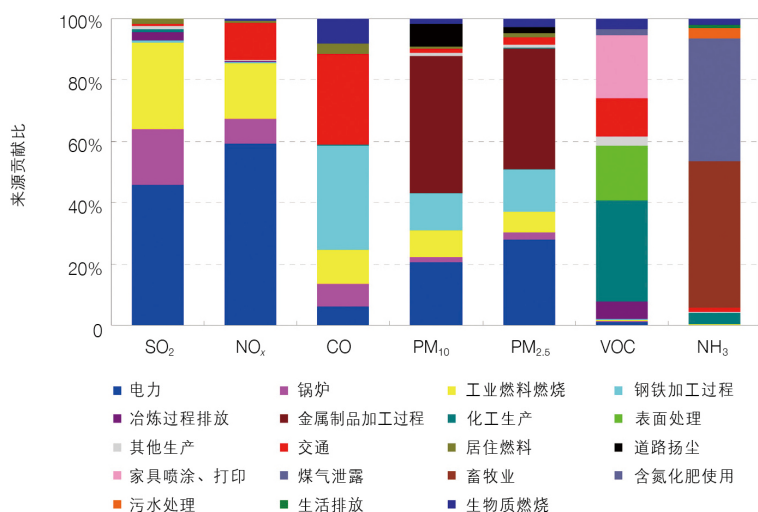


图 6 2007 年长三角地区分行业污染排放源清单

电力行业、金属加工行业是 PM_{2.5} 一次颗粒物的主要贡献者，两者加合贡献一半以上；形成二次 PM_{2.5} 的主要前体物 SO₂、NO_x，电力行业排放分别占 47%、58%。交通行业主要排放氮氧化物、VOC 排放占约 18%，后者是臭氧的主要前体物。

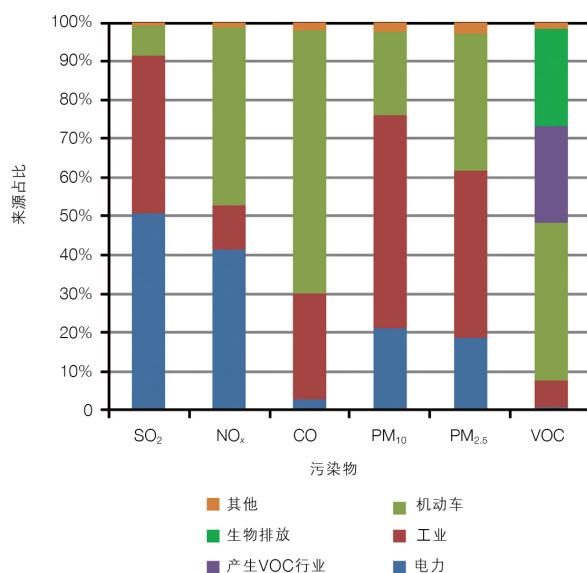


图 7 2006 年珠三角地区分行业污染排放源清单

工业和电力是珠三角 PM_{2.5} 一次污染源的主要来源，贡献超过 60%；同时，电力行业依然是 PM_{2.5} 二次污染前体物的最大来源，分别贡献了 50% 二氧化硫、40% 的氮氧化物；交通贡献在氮氧化物的贡献仅次于电力，同时是珠三角地区挥发性有机物（VOC）最大贡献者。

4.3 不断增长的能源消耗是大气污染加重的主要原因

多项研究表明，城市大气污染加重，区域大气污染恶化均与中国的能源结构过度依赖煤炭有关⁹。控制 PM_{2.5} 污染必须从城市煤炭消耗的清洁替代、区域的煤炭消耗控制、以及燃煤污染物控制着手。

中国控制大气污染一直在和经济发展赛跑。虽然中国过去在控制大气污染物，尤其是控制燃煤大气污染方面做出了不懈努力，但是依然跑不过经济发展带来的能源消耗增长带来的环境压力。以“十二五”期间为例，2010年末煤炭消耗比2005年增加了44%（图8），占全世界煤炭消耗的1/4。虽然通过在电力行业大力推动脱硫改造达到了二氧化硫减排目标；但是由于没有同时推进脱硝，氮氧化物排放在“十一五”期间增加了20%，这也意味着即使“十二五”、“十三五”分别实施减排10%的目标，氮氧化物排放总量也要在2020年才能回到2005年的排放水平。（根据国家统计局年报计算得出）

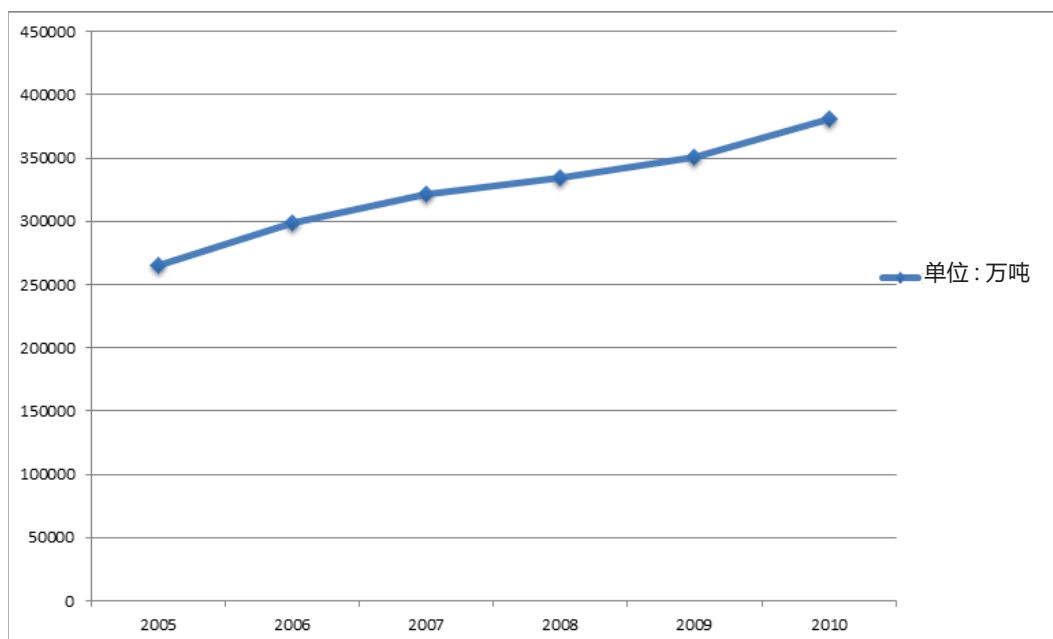


图8 “十一五”期间中国煤炭消费增长

⁹ Qiang Zhang, Kebin He and Hong Huo, Cleaning china's air, Nature 2012 April, Vol484, 161-162.

五

治理 PM_{2.5} 治理建议：

为了 PM_{2.5} 污染治理的有效推进，尽快实现空气质量达标、避免公共健康付出更大的代价，我们认为以下 PM_{2.5} 污染治理方向最为关键：

1 开展区域煤炭总量控制

基于单纯末端空气污染控制已不足以解决中国空气污染的严峻现实，如不大力控制燃煤总量增速过快的趋势，很有可能“十二五”期间二氧化硫、氮氧化物等大气污染物末端减排控制成果会被燃煤增加排放抵消。同时随着煤炭消耗的继续增长，其排放的其他特征污染物会进一步加剧空气污染、对 PM_{2.5} 改善形成长期阻碍。如今，北京、广州等城市已经领先出台“十二五”期间的煤炭总量削减目标，天津、上海以及长三角的无锡、常州、宁波等城市也有了相应的燃煤增加量控制目标。但是，仅仅靠单个城市单打独斗已不足以应对区域污染扩散的严峻现实。因此，在 PM_{2.5} 污染尤为严重的重点区域应当考虑立即开展区域煤炭总量消费控制，有条件的城市群、区域开展跨行政区的煤炭消费零增长控制甚至削减目标。

2 应立即推动现有燃煤电厂的脱硝改造

电力行业装机在“十一五”期间增加 80%，与此同时带来的是氮氧化物的排放激增。而氮氧化物也是 PM_{2.5} 的主要来源之一。虽然国家已经发布《火电行业污染物排放标准》（GB3096 - 2012），大幅收紧了电力行业各项污染物排放限制并明确现有电厂需要在 2014 年 7 月达到排放标准，但自 2011 年 9 月 22 日标准实施至今，现有电厂两年半的达标排放过渡期已过去近一年，火电行业脱硝改造进展甚缓。建议立即完善电厂脱硝电价等鼓励政策、加强监管，尽快推进燃煤电厂的脱硝改造。

3 进一步推进工业锅炉的关停与脱硫、脱硝改造

鉴于分散式工业煤炉依然占据中国煤炭消耗的一半以上，其污染排放水平较低，效率不高。建议立即推进对工业燃煤小锅炉的脱硫、脱硝改造；在经济发达地区，应积极推进工业锅炉的清洁能源替换。

4 进一步改进排污收费政策

中国现有的大气污染物排污费大大低于企业治理污染物成本，这在一定程度上影响了企业治污的积极主动性，也使得排污合法的边界模糊。应提高排污收费标准，并加强监管，大大提高企业违法成本；同时完善环境经济政策，推动污染物总量控制与交易，提高企业减排积极性。

在本报告完稿之后，国家环保部酝酿已久的《重点区域大气污染防治“十二五”规划》在12月5日正式获批并对外发布。规划要求全国涉及近14%国土面积的47个城市到2015年前，完成 $PM_{2.5}$ （细颗粒物）下降5%的指标；对于空气污染达不到国家标准的城市，必须编制空气污染达标规划。《规划》中也包含了我们在上面所提的关键几点，如燃煤电厂脱硝、工业锅炉关停改造等非常积极的内容。

《规划》里5%改善目标的制定是按照重点区域煤炭消费在“十二五”期间增加30%、机动车增加50%的假设来计算的——按照这样的增长速度，即使采取最严格的污染排放标准（即末端污染治理技术），未来五年重点区域 $PM_{2.5}$ 的下降目标仅能达到5%。面对多个城市超标数倍、公共健康代价巨大的现实，这样的煤炭消费增长、机动车增加趋势意味着达标路漫漫。显然，需要采取抑制措施。这更加确认了在重点区域开展燃煤总量控制的必要性。

我们期望，重点区域各级政府可以在《规划》的积极基础上，再向蓝天迈出一大步，尽快制定空气污染达标规划，提出一个明确的、积极进取的 $PM_{2.5}$ 达标时间表。规划制定过程中应尽量做到信息公开，鼓励公众参与。

京津冀、长三角、珠三角等有条件的城市群可以提出更具雄心的区域燃煤控制目标。

环保部门、卫生部门应加强对空气污染的公众健康教育，提醒公众做好健康防护。同时积极倡导绿色生活，让公众共同参与城市空气质量改善。

附录

附表 1 2010 年 4 城市人口、经济基本情况

城市	人口 (万人)	面积 (km ²)	GDP (亿元)
北京	1961	16410.54	14113.58a
西安	847	10108	3241.69b
广州	1107	7434.4	10748.28c
上海	2303	6340.5	17165.98d

a:2011 年北京市统计年鉴；b：2011 年《陕西统计年鉴》；c:2011 年广州统计年鉴；d：2011 年上海市统计年鉴

附表 2 2010 年北京市由于 PM_{2.5} 污染造成的死亡人数和经济损失

疾病种类	死亡人数	经济损失 (万元)
心脏病	755(229,1265)	60057
脑血管病	685(208,1147)	54439
总死亡	2349(862,3802)	186754

括号内数字为 95% 的可信区间

附表 3 2010 年上海市由于 PM_{2.5} 污染造成的死亡人数和经济损失预测

疾病种类	死亡人数	经济损失 (万元)	合计	
			死亡人数	经济损失 (万元)
循环系统疾病	1195(30,2344)	94964(2360,186376)	2980(921,4992)	236924(73247,396831)
呼吸系统疾病	826(144,1423)	65676(11472,115513)		
总死亡	2980(921,4992)	236924(73247,396831)		

括号内数字为 95% 的可信区间

附表 4 2010 年广州市由于 PM_{2.5} 污染造成的死亡人数和经济损失

疾病种类	死亡人数	经济损失 (万元)
循环系统疾病	1145(304,1933)	91040
呼吸系统疾病	310(48,556)	24613
总死亡	1715(683,59183)	136332

括号内数字为 95% 的可信区间

附表 5 2010 年西安市由于 PM_{2.5} 污染造成的死亡人数和经济损失

疾病种类	死亡人数	经济损失 (万元)
心脑血管疾病	436(131,733)	34692
总死亡	726(257,1186)	57724

括号内数字为 95% 的可信区间

附表 6 2012 年北京市由于 PM_{2.5} 污染造成的死亡人数和经济损失预测

不同情景模式	疾病种类	死亡人数	经济损失 (万元)	总死亡
情景 1	心脏病	114.72(34.83,192.12)	9120.20(2769.26,15273.53)	356.73 (130.92 ,577.31)
	脑血管病	103.99(31.58,174.15)	8267.12 (2510.23,13844.89)	
	总死亡	356.73 (130.92,577.31)	28360.39(10408.49,45896.20)	
情景 2	心脏病	172.08(52.25,1106.61)	13680.29 (4153.89,22910.29)	535.10 (196.39,3325.31)
	脑血管病	155.98 (47.36,1003.10)	12400.68(3765.34,79746.57)	
	总死亡	535.10 (196.39,3325.31)	42540.58 (15612.74,264362.12)	
情景 3	心脏病	401.52(121.92,672.42)	31920.69(9692.40,53457.35)	1248.57 (458.24,2020.59)
	脑血管病	363.96 (110.51,609.52)	28934.92 (8785.80,48457.12)	
	总死亡	1248.57(458.24,2020.59)	99261.35 (36429.73,160636.70)	
情景 4	心脏病	832.86 (252.89,1394.79)	66212.62 (20104.81,110885.82)	2589.89 (950.51,4191.28)
	脑血管病	754.96(229.24,1264.33)	60019.30(18224.27,100513.90)	
	总死亡	2589.89 (950.51,4191.28)	205896.41(75565.67,333206.42)	

基于 06-10 年的平均增长速度 5.0% , 人口结构和适应性不变

附表 7 2012 年上海市由于 PM_{2.5} 污染造成的死亡人数和经济损失预测

不同情景模式	疾病种类	死亡人数	经济损失（万元）	总死亡
情景 1	循环系统疾病	280.49 (6.97,550.49)	22299.09(554.19,43763.88)	699.79(216.35,1172.10)
	呼吸系统疾病	193.98 (33.89,341.18)	15421.73(2693.87,27124.16)	
	总死亡	699.79 (216.35,1172.10)	55633.41(17199.49,93182.05)	
情景 2	循环系统疾病	420.74(10.46,825.73)	33448.63(831.28,65645.82)	1049.69(324.52,1758.15)
	呼吸系统疾病	290.98(50.83,511.78)	23132.6(4040.81,40686.24)	
	总死亡	1049.69(324.52,1758.15)	83450.12(25799.24,139773.1)	
情景 3	循环系统疾病	981.72(24.40,1926.71)	78046.8(1939.66,153173.6)	2449.27(757.21,4102.35)
	呼吸系统疾病	678.94(118.60,1194.15)	53976.06(9428.55,94934.56)	
	总死亡	2449.27(757.21,4102.35)	194717(60198.23,326137.2)	
情景 4	循环系统疾病	1329.53(33.04,2609.32)	105697.7(2626.848,207440.8)	3317.01(102548,5555.76)
	呼吸系统疾病	919.48(160.62,1617.21)	73099(12768.95,128568.5)	
	总死亡	3317.01(1025.48,5555.76)	263702.4(81525.6,441682.9)	

基于近 4 年的平均增长速度 5.5%，人口结构和适应性不变。括号内数字为 95% 可信区间

附表 8 广州市 2012 由于 PM_{2.5} 污染造成的死亡人数和经济损失预测

不同情景模式	疾病种类	死亡人数	经济损失（万元）	总死亡
情景 1	循环系统疾病	306.36(81.41,517.11)	24355.41(6472.096,41110.57)	458.77(182.78,15832.92)
	呼吸系统疾病	82.82(12.76,148.81)	6584.487(1014.302,11830.36)	
	总死亡	458.77(182.78,15832.92)	36471.94(14531,1258717)	
情景 2	循环系统疾病	459.54(122.12,775.67)	36533.11(9708.14,61665.85)	688.15(274.17,23749.38)
	呼吸系统疾病	124.24(19.14,223.21)	9876.73(1521.45,17745.54)	
	总死亡	688.15(274.17,23749.38)	54707.91(21796.5,1888076)	
情景 3	循环系统疾病	1072.25(284.94,1809.90)	85243.93(22652.34,143887)	1605.68(639.73,55415.23)
	呼吸系统疾病	289.88(44.65,520.83)	23045.71(3550.058,41406.26)	
	总死亡	1605.68(639.73,55415.23)	127651.8(50858.49,4405511)	
情景 4	循环系统疾病	1286.70(341.92,2171.88)	102292.7(27182.8,172664.4)	1926.82(767.68,66498.27)
	呼吸系统疾病	347.86(53.59,625.00)	27654.85(4260.069,49687.51)	
	总死亡	1926.82(767.67,66498.27)	153182.2(61030.19,5286613)	

基于近 4 年的平均增长速度 6.0%，人口结构和适应性不变。括号内数字为 95% 可信区间

附表 9 2012 年西安市由于 PM_{2.5} 污染造成的死亡人数和经济损失预测

不同情景模式	疾病种类	死亡人数	经济损失（万元）	合计	
				总死亡	经济损失（万元）
情景 1	心脑血管疾病	56.96(17.13,95.65)	4528.162(1361.44,7604.28)	94.77(33.50,154.83)	458.77(182.78,15832.92)
	总死亡	94.77(33.50,154.83)	7534.33(2663.61,12308.75)		
情景 2	心脑血管疾病	85.44(25.69,143.48)	6792.24(2042.16,11406.41)	142.16(50.26,232.24)	11301.49(3995.41,18463.12)
	总死亡	142.16(50.26,232.24)	11301.49(3995.41,18463.12)		
情景 3	心脑血管疾病	199.35(59.94,334.78)	15848.57(4765.03,26614.96)	331.70(117.27,541.89)	26370.14(9322.63,43080.61)
	总死亡	331.70(117.27)	26370.14(9322.62,43080.61)		
情景 4	心脑血管疾病	444.27(133.58,746.08)	35319.66(10619.22,59313.34)	739.22(261.34,1207.65)	58767.75(20776.15,96008.21)
	总死亡	739.22(261.33,1207.65)	58767.75(20776.15,96008.21)		

基于 06-10 年的平均增长速度 0.9% ，人口结构和适应性不变。括号内数字为 95% 可信区间

附表 10 不同 PM_{2.5} 浓度情景设计及其依据（单位：μg/m³）

情景	PM _{2.5} 浓度年均值	参考标准
情景 1	10	WHO 空气质量准则
情景 2	15	中国一级标准
情景 3	35	中国二级标准
情景 4	Aa	

a 浓度保持不变



 100%再生纸印刷

GREENPEACE 绿色和平

北京市东城区新中街68号聚龙花园7号楼
聚龙商务楼3层100027

电话：86(10) 65546931

传真：86(10) 65546932

www.greenpeace.cn