

2016

京津冀 PM2.5 健康损害评估研 究报告

中国人民大学环境政策与环境规划研究所

北京数汇通环境技术研究有限公司

2016 年 12 月

一、本报告为以下项目的研究成果：

(1) 北京市空气污染健康损失评估方法、参数及应用研究，北京市社会科学基金重点项目（15JGA012）。

(2) 中央在京高校重大成果转化项目：京津冀协同一体化发展政策课题

(3) 国家社科基金重点项目，雾霾的成因及综合治理对策研究（15AJY010）

二、研究团队：

首席专家：宋国君 博士、教授、博士生导师，中国人民大学环境学院环境经济与管理系；中国人民大学环境政策与环境规划研究所所长

研究骨干：刘帅 博士 中国人民大学环境政策与环境规划研究所

何伟 博士 北京数汇通环境技术研究院有限公司

目 录

1	评估框架.....	4
1.1	空气污染健康损害评估框架.....	4
1.2	健康损害评估指标.....	4
1.3	时间尺度.....	5
1.4	空间尺度.....	6
1.5	健康终点.....	6
1.6	年龄差异.....	7
1.7	比较基准的选择.....	7
1.8	“剂量-反应”关系参数取值.....	8
1.9	健康价值参数选择.....	10
2	监测点分布.....	12
2.1	北京环境空气质量监测点.....	12
2.2	天津和河北各市环境空气质量监测点.....	14
3	监测点数据及其质量评估.....	16
3.1	监测点环境空气质量数据.....	16
3.2	日数据有效性判定.....	17
3.3	月数据有效性判定.....	18
3.4	年数据有效性评价.....	20
4	监测点环境空气质量达标判定.....	20
4.1	北京市环境空气质量达标判定.....	21
4.2	天津和河北各地级市监测点 PM2.5 达标判定.....	23
5	PM2.5 达标情景下浓度推测.....	25
5.1	监测点 PM2.5 日平均浓度百分之 95 分位数值及其超标倍数.....	25
5.2	空气质量达标情景下各监测点 PM2.5 浓度值.....	27
5.3	基于美国环境空气质量标准的达标浓度推算.....	31
6	PM2.5 浓度超标所致人群健康损失评估结果.....	33

6.1	PM2.5 与人群健康“剂量-反应”关系参数的确定	33
6.2	人口	35
6.3	当前 PM2.5 浓度下人群健康效应评估	37
6.4	PM2.5 浓度超标所致人群健康损失	51
6.5	急性健康损害评估	55
7	总结和讨论.....	56

1 评估框架

1.1 空气污染健康损害评估框架

1983年，美国科学协会（NAS）提出环境健康风险评估的基本框架，之后美国环保署开发了 BenMAP 软件，该软件整合了美国流行病学和生命价值参数研究成果，为空气污染健康损害的计算提供技术支持。目前，国内已有学者参与到对 BenMAP 系统的设计和研发（杨毅，2013），以及利用美国 BenMAP 软件在我国部分地区开展空气污染健康损害评估（段显明，2013）。本研究参考美国 BenMAP 的方法框架，提出京津冀城市 PM_{2.5} 健康损害评估的基本框架如下图 1 所示：

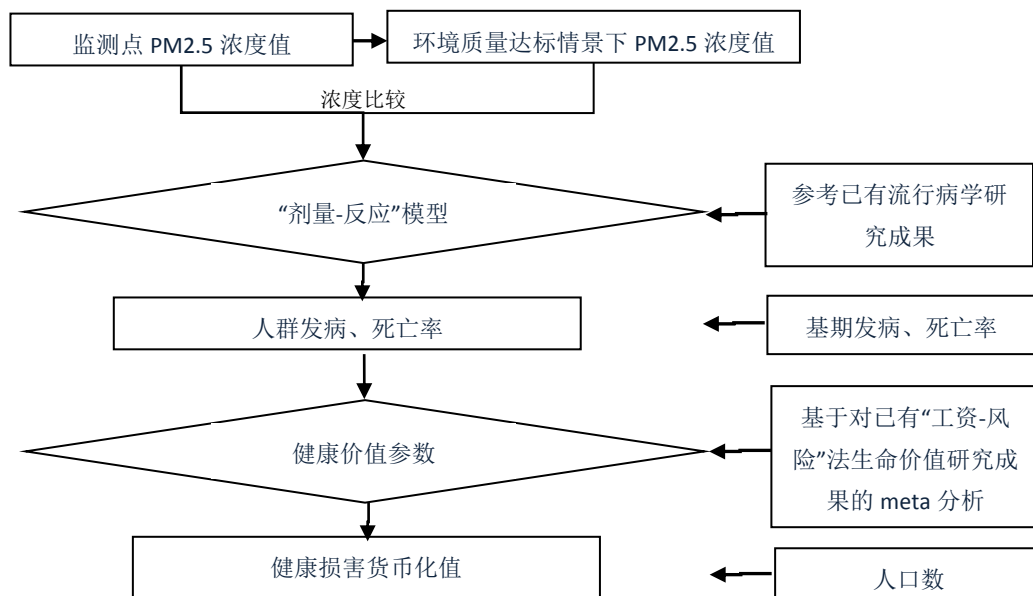


图 1 PM_{2.5} 健康损害评估的基本框架

按照如上计算框架，PM_{2.5} 健康损害评估，将首先基于“剂量-反应”关系模型，评估 PM_{2.5} 在当前浓度水平下，相对于 PM_{2.5} 达标情景，所造成的额外的发病、住院和死亡人口；进而带入生命价值、医疗成本、误工成本等参数，估计 PM_{2.5} 健康影响的货币化值。

1.2 健康损害评估指标

颗粒物按粒径大小可分为 PM₁₀ 和 PM_{2.5}，前者代表粒径小于 10 微米的颗粒物，

称为可吸入颗粒物，后者代表粒径小于 2.5 微米的颗粒物，称为细颗粒物。目前，空气污染管理的重心已从 PM10 逐渐过渡到 PM2.5，如美国空气质量标准（NAAQS）以及美国各州“州实施计划”的制定，均以 PM2.5 作为管理对象，相应的健康损害评估也围绕 PM2.5 进行，BenMAP 数据库收录了 PM2.5 与死亡率的“剂量-反应”关系。

已有流行病学研究结果表明，颗粒物对人体健康造成影响，将主要通过粒径小于 2.5 微米的颗粒物发挥作用。PM2.5 与死亡率“剂量-反应”关系系数值，不论从长期还是短期看，都远高于 PM10 物质（Fuentes, 2006; Janssen, 2013）。[McDonnell \(2000\)](#) 计算和比较了粒径小于 2.5 微米的细颗粒物，和粒径在 2.5-10 微米的粗颗粒物对人群健康的影响后，得出了细颗粒物能更好解释颗粒物与死亡率关系的结论。

目前，我国城市监测点已具备 PM2.5 连续监测能力，从 2013 年起城市监测点开始监测并公开发布 PM2.5 小时监测数据，这为我国城市开展颗粒物健康损害评估提供了数据基础。本研究选择以 PM2.5 作为健康损害评估指标。

1.3 时间尺度

PM2.5 对人群健康造成的影响，可分为短期效应和长期效应。短期效应是指 PM2.5 在短期内对人群健康的影响，通常为日时间尺度；长期效应是指 PM2.5 在长期内对人群健康的影响，通常为月或年时间尺度。

目前，国内研究多在日时间尺度上评估空气污染对人群健康的影响，近年来也有不少研究将评估的时间尺度延长到年（陈仁杰，2010；段显明，2013；黄德生，2013）。国外方面，美国 PM2.5 标准政策影响分析（Regulatory Impact Analysis, RIA），以及州实施计划（State Implementation Plan, SIP）中 PM2.5 健康损害分析部分，全部以年为时间尺度开展评估。

流行病学研究结果表明，PM2.5 对人群健康的长期影响不容忽视。PM2.5 年平均值与死亡率“剂量-反应”关系参数值，要远高于 PM2.5 日平均值与死亡率“剂量-反应”关系参数值（HEI, 2010; Atkinson, 2012），前者几乎是后者的 10 倍以上，只计算 PM2.5 对人群健康的短期影响，必然会极大低估 PM2.5 所造成的健康损害。在年时间尺度上开展 PM2.5 健康损害评估更为合适。

1.4 空间尺度

在空间尺度的选择上，BenMAP 软件将城市进一步划分为更小的网格，每个网格代表一个人口单元。以网格内或邻近网格空气质量监测点返回的监测结果，代表该网格的 PM_{2.5} 浓度值，以网格内的人口代表人口，首先在网格水平上计算空气污染所造成健康损害，而在城市水平上加总以反映空气污染对城市居民健康的损害。国内方面，空气污染健康损害评估仍主要停留在城市水平，只有少数研究对空间尺度上做了进一步划分（段显明，2013）。

事实上，城市范围内不同区域处 PM_{2.5} 浓度不同，人口数也不同，在更小的空间尺度上进行计算，可提高评估的精确程度。例如，当人口更多集中于 PM_{2.5} 浓度较高区域时，空气污染所造成健康损害相比于人口平均分布时更大。这时，在更大空间范围内将不同区域点处 PM_{2.5} 浓度和人口平均以后再进行计算的方法，会在一定程度上低估实际的健康损害。

我国地级及以上城市，一般设有多个空气质量监测点，所监测数据分别代表一定区域内的空气质量状况。同时，城市内划分多个行政区，统计并发布常住人口数据。将研究尺度缩小为行政区，充分利用行政区内各个监测点返回的 PM_{2.5} 浓度监测数据，和行政区内常住人口数据，所计算 PM_{2.5} 健康损害的评估精度可以更高。

1.5 健康终点

PM_{2.5} 污染对人群健康造成损害，包括引起人群死亡率、发病率、急诊率、门诊率和住院率的上升，并造成人体免疫功能等身体机能的下降。PM_{2.5} 致人死亡的，包括致人罹患心脑血管疾病、呼吸系统疾病及肺癌后死亡。国内研究较多基于颗粒物浓度与人群全因死亡率的“剂量-反应”关系进行计算，部分研究区分死亡所属疾病类型进行计算，包括心脑血管疾病和呼吸系统疾病死亡（蔡春光，2009；谢鹏，2010；赵晓丽，2014），少数研究考虑了肺癌死亡（段显明，2013）。

是否需要分病种计算 PM_{2.5} 健康损害，首先要看是否有流行病学研究成果的支持，然后要看不同病种在“剂量-反应”关系参数值上的差异是否明显，同时要看不同病种基期死亡率在城市间的差异是否明显。由于政策应用类研究往往需要参考已

有流行病学研究成果，当不同病种“剂量-反应”关系参数差异较大，而不同病种基期死亡率在城市间的差异又十分明显时，在城市间相互借用 PM2.5 与全因死亡率的“剂量-反应”关系参数可能存在不可比的问题，分病种计算 PM2.5 健康损害可在一定程度上提高评估的精确度。

1.6 年龄差异

不同年龄段人群对空气污染的敏感程度不同，已有流行病学研究结果表明，年龄在 65 岁以上人群，对 PM2.5 的敏感程度要略高于 65 岁以下人群，相应的“剂量-反应”关系参数值更高（Ostro, 2006）。国内方面，多数研究未区分年龄段计算空气污染所致健康损害，对不同年龄阶段人群使用相同的“剂量-反应”关系参数值，会在一定程度上低估年龄较高人群所面临的健康风险。

分年龄段计算空气污染所致健康损害，可在一定程度上提高计算的精确度。是否确实需要采用上述算法，同样要看是否有流行病学研究成果的支持、不同年龄段人群“剂量-反应”关系在数值上是否有明显差异、以及不同城市居民在年龄结构上是否有明显差异。

1.7 比较基准的选择

BenMAP 软件所计算空气污染所致健康损害，是一个相对值的概念，为当前空气污染相对于基准情景下的人群健康损害。基准情景一般设定为空气质量达标浓度，若当前空气污染物浓度超过标准值，仅针对超过部分计算空气污染所致健康损害；若当前空气污染物浓度达到标准值，则不再计算空气污染所致健康损害。BenMAP 软件给出了监测点在空气质量达标情景下的污染物基准浓度计算方法，称为“向标准靠拢（Rollback to Standard）”。该方法假定，在空气质量达标情景下，PM2.5 日平均浓度 98%分位数实现达标的同时，其他时间内 PM2.5 日平均浓度值超过自然界背景浓度值的部分，也将按照相同比例或数值降低。

国内方面，多数研究未考虑比较基准选择的问题，所计算空气污染健康损害，实质上是相对于空气污染物浓度为零而言的，也即空气污染对人群健康的“绝对影响”；仅有少数研究以空气质量达标情景为参照，计算了空气污染物浓度达标可实现

的健康收益（段显明，2013；黄德生，2013）。

PM2.5 健康损害评估的目的是为环境管理决策服务，选择以空气质量达标情景下的 PM2.5 浓度值作为比较的基准，计算城市当前空气污染对人群健康的“相对影响”，所计算结果的管理意义更强，可作为论证城市空气规划合理性的依据。

1.8 “剂量-反应”关系参数取值

空气污染健康损害评估通过建立空气污染物浓度与人群健康终点的“剂量-反应”关系模型，量化空气污染物对人群健康的影响。模型常采用半对数线性形态： $\ln(Y_0) = a + \beta X_0$ ，式中， Y_0 代表基期死亡率/发病率， X_0 代表基期污染物浓度（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）， β 为“剂量-反应”关系参数。使用该模型，研究人员可计算污染物浓度上升一定数值的时候，人群死亡率/发病率相对于基期水平上升的百分比： $\ln(Y_1/Y_0) = \beta \Delta x$ ，式中， Y_1 代表死亡率/发病率上升后的值， Δx 代表污染物浓度的增加（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）。

PM2.5 与死亡率“剂量-反应”关系参数的取值，国外方面，美国 EPA 推荐使用 Pope（2002）和 Laden（2006）的研究成果，取两项研究的平均值，该取值也与 12 位专家审查的结果基本一致（Roman，2008）。各州 EPA 可自行选择参数取值，如加州 EPA 所使用参数更多参考了 Jerrett（2005）在洛杉矶本地所做的流行病学研究成果。国内方面，参数取值并没有形成统一的标准，多数研究选择使用之前某项流行病学研究成果；部分研究选择使用之前多项流行病学研究成果的 meta 合并值（黄德生，2013）；也有研究选择使用美国流行病学研究成果（陈仁杰，2010）。

表 1 PM2.5 与疾病死亡、发病和住院率的“剂量-反应”关系参数取值

健康终点	“剂量-反应”关系 β 值	来源
心脑血管疾病死亡率	0.017	Pope、Laden
呼吸系统疾病死亡率	0.005	Pope、Laden
肺癌死亡率	0.0186	Pope、Laden
心脑血管疾病住院率	0.0014 (<65 岁)	Moolgavkar、Zanobetti、Peng、Bell
	0.00158 (>65 岁)	
呼吸系统疾病住院率	0.002 (<17 岁)	Moolgavkar、Zanobetti、Babin、Sheppard
	0.00185 (18-64 岁)	
慢性支气管炎发病率	0.0021 (>65 岁)	Abbey*
	0.0132 (>20 岁)	
哮喘急诊率	0.00425	Mar、Slaughter

*该研究采用逻辑斯蒂模型形态，在应用该模型时，需要将慢性支气管炎发病率指标调整为发病与未发病人口的比值

国内关于 PM2.5 的已有流行病学研究成果多以日为时间尺度建立时间序列模型（戴海夏，2004；Kan H，2007；Chen R，2011；Ma Y，2011；Huang W，2012；Cao J，2012；Yang C，2012），共纳入文献 11 篇，其中中文 1 篇，英文 10 篇，分别来自于北京、上海、西安等 6 个城市，包括了 13 个 meta 分析样本。文献整理结果如表 2 所示：

表 2 国内 PM2.5 日平均浓度同死亡率“剂量-反应”关系的流行病学研究结果整理

来源	发表时间	地点	样本量(万人)	年死亡率(1/10万)	PM2.5 浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	模型形态	β 值	标准差
戴海夏	2004	上海某城区	124	616	68.76	对数线性	0.00085	0.0002699
Haidong Kan	2006	上海	630	693	56.4	对数线性	0.00036	0.00012725
Huang Wei	2011	西安	540	342	176.7	对数线性	0.00028	0.00004
Cao J,	2012	西安	270	348	182.2	对数线性	0.00016	0.00004
Renjie Chen	2011	北京	710	613	82	对数线性	0.00053	0.00007
		上海	650	663	55	对数线性	0.00047	0.00013
		沈阳	350	698	94	对数线性	0.00035	0.00009
Yanjun Ma	2011	沈阳	350	694	75	对数线性	0.00049	0.00015
Yang C	2012	广州	150	472	70.1	对数线性	0.0009	0.00018
Huang We	2009	上海	630	694	56.4	对数线性	0.00034	0.00017
Scott A. Venners	2003	重庆	57.6	610	146.8	对数线性	0.000	0.00035
Pei Li	2014	北京	--	--	74.58	对数线性	0.00042	0.00006
Fuhai Geng	2012	上海	700	647	53.9	对数线性	0.00057	0.000229

采用随机效应模型合并效应量。合并结果表明，当 PM2.5 日平均浓度上升 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的情况下，人群日死亡率将相对于基期水平增加 0.37%(95%CI: 0.26%, 0.48%)。图 2 为 meta 分析森林图。

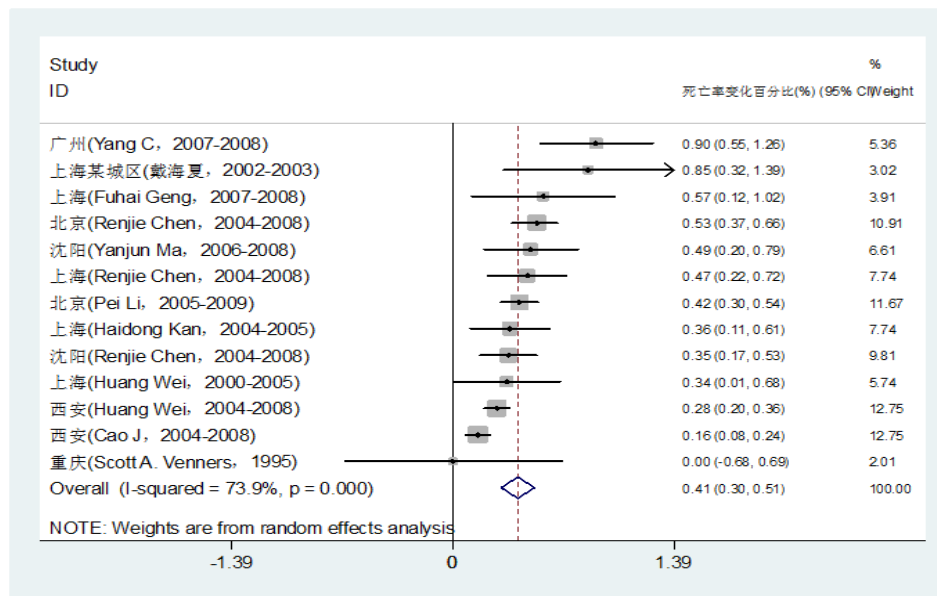


图 2 国内 PM2.5 日平均浓度与死亡率“剂量-反应”关系 meta 分析森林图

1.9 健康价值参数选择

健康价值参数，用于对空气污染健康损害进行货币化评估，包括生命价值参数和医疗成本参数。其中，空气污染致人死亡所造成的货币化损失，是健康损害最主要的构成部分，医疗成本一般采用疾病成本法（Cost of illness, COI）进行核算，带入居民门诊或住院过程中产生的医疗费用和误工成本进行计算。

生命价值，一般采用统计生命价值（VSL, Value of Statistical Life）的概念，是人们为降低死亡风险，而愿意支付的金额的加总。目前，国内研究较多采用人力资本法估计生命价值（徐肇翊，2003；於方，2008；胥卫平，2007；韩茜，2011），另有部分研究使用条件价值方法对生命价值进行估计（侯青，2011；段显明，2013；黄德生，2013），并根据城市居民的收入水平对生命价值参数进行调整。国外研究较多采用“工资-风险”法估计生命价值，如美国 BenMAP 数据库中收录的 26 项生命价值研究中，有 22 项研究采用“工资-风险”法估计生命价值。

该方法将人作为生产财富的资本，用一个人生产财富的多少来定义这个人的价值，但该方法被认为没有很好的计算失业者、待业者和老人的生命价值，因而在一定程度上存在伦理道德缺陷（靳乐山，1998）。采用人力资本法模型估计生命价值，

$$VSL = Y + Y(1 + \gamma)/(1 + a) + Y(1 + \gamma)^2/(1 + a)^2 + \dots + Y(1 + \gamma)^n/(1 + a)^n。$$

式中， Y 代表人力资本， n 代表损失的工作年限， γ 代表人力资本未来增长率， a 为贴现率。用人均收入代表人力资本，能够较好的反映劳动者对产出的边际贡献；用预期退休年龄减去实际死亡年龄表示损失工作年限， $A = \{\sum_{i=1}^k Y_{0i} * [\exp(\beta_i \Delta X) - 1] * N_i * A_i\} / \{\sum_{i=1}^k Y_{0i} * [\exp(\beta_i \Delta X) - 1] * N_i\}$ ，式中， Y_{0i} 代表 i 年龄段人口基期死亡率， β_i 代表空气污染物对 i 年龄段人口的“剂量-反应”关系参数， N_i 代表 i 年龄段人口数， A_i 代表 i 年龄段损失工作年限， ΔX 代表污染物浓度的上升；人力资本未来增长率 γ 参考城市历年经济增长速度而定；贴现率 a 取值一般为 3%或 7%。

“工资-风险”法构建以工资收入为因变量，以岗位死亡风险及其他变量为自变量的回归模型，估计工人在死亡风险增加情景下所要求的工资补偿，代表其对生命价值的支付意愿。模型基本形态为 $\ln W_0 = f(R_0, S, D, e)$ ，式中， W_0 代表工人基期工资水平， R_0 代表岗位死亡风险（单位：死亡人数/万人）， S 代表工人特征变量， D 代表岗位特征变量， e 为误差项。模型经简单推导，可用于估计生命价值： $VSL = W_0 * [\exp(\beta) - 1] * 10000$ ，式中， β 为“工资-风险”法模型中岗位死亡风险变量前面的系数，代表岗位死亡风险上升万分之一情景下，工人所要求的工资补偿占其工资收入的百分比。本研究收集和整理了国内已有“工资-风险”法文献资料（Siebert，1998；Liu J，1999；赵妍，2007；Guo X，2009；梅强，2012；钱永坤，2011；彭小辉，2014），以 β 系数为效应量，采用 meta 分析方法对研究结果进行合并，分析结果表明，在岗位死亡风险上升万分之一情景下，工人所要求工资补偿占其工资收入的百分比为 1.45%（95%CI: 0.77%，2.14%），做森林图如图 2 所示。

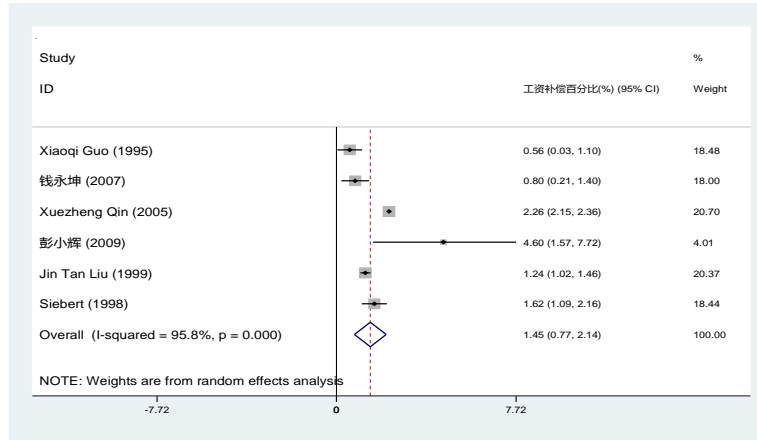


图 3 国内“工资-风险”法生命价值 meta 分析结果

2 监测点分布

2.1 北京环境空气质量监测点

北京共设 35 个监测点，其中，12 个为城区监测点；11 个为郊区监测点；7 个为对照点或区域点；5 个为交通监测点。这 35 个监测点的名称、所处行政区以及其经纬度如表 3-表 6 所示：

表 3 北京市城区监测点及其经纬度和所处行政区

监测点名称	监测点全称	经度	纬度	所处区
东四	东城东四	116.417	39.929	东城
天坛	东城天坛	116.407	39.886	东城
官园	西城官园	116.339	39.929	西城
万寿西宫	西城万寿西宫	116.352	39.878	西城
奥体中心	朝阳奥体中心	116.397	39.982	朝阳
农展馆	朝阳农展馆	116.461	39.937	朝阳
万柳	海淀万柳	116.287	39.987	海淀
北部新区	海淀北部新区	116.174	40.09	海淀
植物园	海淀北京植物园	116.207	40.002	海淀
丰台花园	丰台花园	116.279	39.863	丰台
云岗	丰台云岗	116.146	39.824	丰台

古城	石景山古城	116.184	39.914	石景山
----	-------	---------	--------	-----

表 4 北京市郊区监测点及其经纬度和所处行政区

监测点名称	监测点全称	经度	纬度	所处区
房山	房山良乡	116.136	39.742	房山
大兴	大兴黄村镇	116.404	39.718	大兴
亦庄	亦庄开发区	116.506	39.795	大兴
通州	通州新城	116.663	39.886	通州
顺义	顺义新城	116.655	40.127	顺义
昌平	昌平镇	116.23	40.217	昌平
门头沟	门头沟龙泉镇	116.106	39.937	门头沟
平谷	平谷镇	117.1	40.143	平谷
怀柔	怀柔镇	116.628	40.328	怀柔
密云	密云镇	116.832	40.37	密云
延庆	延庆镇	115.972	40.453	延庆

表 5 北京市对照监测点及其经纬度和所处行政区

监测点名称	监测点全称	经度	纬度	所处区
定陵	昌平定陵	116.22	40.292	昌平
八达岭	京西北八达岭	115.988	40.365	延庆
密云水库	京东北密云水库	116.911	40.499	密云
东高村	京东东高村	117.12	40.1	平谷
永乐店	京东南永乐店	116.783	39.712	通州
榆垓	京南榆垓	116.3	39.52	大兴
琉璃河	京西南琉璃河	116	39.58	房山

表 6 北京市交通监测点及其经纬度和所处行政区

监测点名称	监测点全称	经度	纬度	所在区
前门	前门东大街	116.395	39.899	东城
永定门内	永定门内大街	116.394	39.876	东城

西直门北	西直门北大街	116.349	39.954	西城
南三环	南三环西路	116.368	39.856	丰台
东四环	东四环北路	116.483	39.939	朝阳

各个监测点分布情况用 GIS 图展示如下：

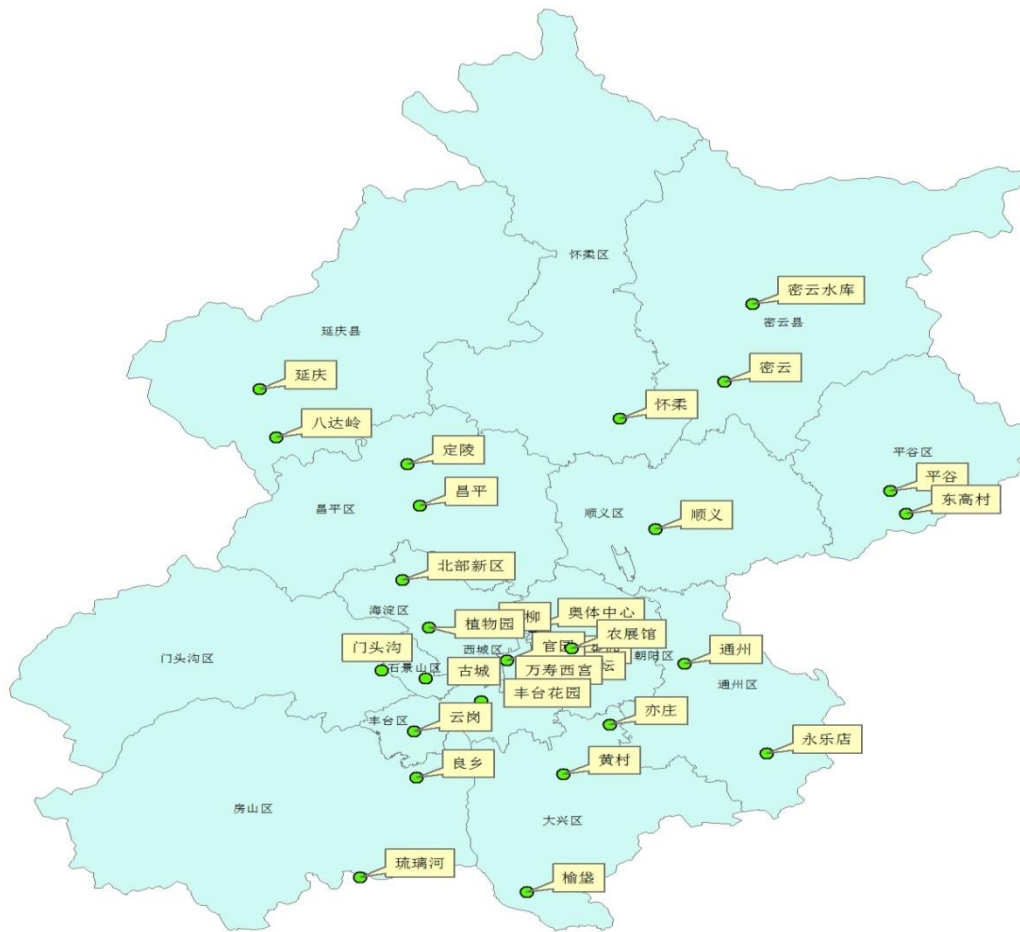


图 4 北京市各监测点位分布图

2.2 天津和河北各市环境空气质量监测点

天津市空气质量监测点，共覆盖了和平区、河东区、河西区、南开区、河北区

等 10 个区县。河北各地级城市的国控监测点，基本实现了对城区的覆盖。监测点分布如表所示：

表 6 天津、河北各城市监测点及其所处行政区

城市	监测点名称	所在行政区
天津	市监测中心	南开区
	南口路	河北区
	勤俭路	红桥区
	南京路	和平区
	大直沽八号路	河东区
	前进路	滨海新区
	北辰科技园区	北辰区
	天山路	河东区
	跃进路	东丽区
	第四大街	滨海新区
	永明路	滨海新区
	航天路	东丽区
	汉北路	滨海新区
	团泊洼	静海区
石家庄	化工学校	裕华区
	职工医院	长安区
	高新区	藁城市
	西北水源	新华区
	西南高教	桥西区
	世纪公园	裕华区
	人民会堂	长安区
	封龙山	鹿泉市
唐山	供销社	路北区
	雷达站	路南区
	物资局	路南区
	陶瓷公司	路北区
	十二中	路北区
	小山	路北区
秦皇岛	北戴河环保局	北戴河区
	第一关	山海关区
	监测站	海港区
	市政府	海港区
	建设大厦	海港区
邯郸	环保局	丛台区
	东污水处理厂	丛台区

	矿院	邯山区
	丛台公园	丛台区
保定	游泳馆	南市区
	华电二区	北市区
	接待中心	莲池区
	地表水厂	清苑区
	胶片厂	新市区
	监测站	北市区
	张家口	人民公园
探机厂		桥东区
五金库		宣化区
世纪豪园		桥东区
北泵房		桥东区
承德	铁路	双桥区
	中国银行	双桥区
	开发区	双桥区
	文化中心	双滦区
	离宫	双桥区
廊坊	药材公司	安次区
	开发区	广阳区
	环境监测监理中心	广阳区
	北华航天学院	广阳区
沧州	沧县城建局	新华区
	电视转播站	运河区
	市环保局	新华区
衡水	电机北厂	桃城区
	市监测站	桃城区
	市环保局	桃城
邢台	达活泉	桥西区
	邢师高专	桥东区
	路桥公司	桥东区
	市环保局	桥西区

3 监测点数据及其质量评估

3.1 监测点环境空气质量数据

采集北京市环境保护监测中心每日公布的各个监测点空气污染物连续监测数据。从2014年1月1日到2015年12月31日，采集了北京市2014-2015年两年的监测

数据。同时采集天津及河北各市环境保护监测中心每日发布的各个监测点 PM2.5 浓度数据，时间从 2015 年 1 月 1 日到 2015 年 12 月 31 日。

对采集得到的监测点数据做数据有效性判定，依据《环境空气质量标准（GB 3095—2012）》的相关规定如表 7 所示：

表 7 《环境空气质量标准（GB 3095—2012）》监测数据有效性判定标准

污染物项目	平均时间	数据有效性规定
SO ₂ 、NO ₂ 、PM ₁₀ 、PM _{2.5}	年平均	每年至少 324 个日平均浓度值 每月至少 27 个日平均浓度值（2 月份为 25）
SO ₂ 、NO ₂ 、CO、PM ₁₀ 、PM _{2.5}	24 小时平均	每日至少 20 个小时平均浓度值
O ₃	8 小时平均	每 8 小时至少有 6 个平均浓度值

3.2 日数据有效性判定

表 8 北京市各监测点颗粒物浓度日数据有效性判定结果

监测点名称	2014 年		2015 年	
	有效日个数	有效日占比 (%)	有效日个数	有效日占比 (%)
东四	337	94.7%	347	95.07%
天坛	312	87.6%	344	94.25%
官园	332	93.3%	344	94.25%
万寿西宫	323	90.7%	339	92.88%
奥体中心	324	91.0%	340	93.15%
农展馆	329	92.4%	333	91.23%
万柳	338	94.9%	341	93.42%
北部新区	337	94.7%	335	91.78%
植物园	326	91.6%	315	86.30%
丰台花园	330	92.7%	338	92.60%
云岗	334	93.8%	340	93.15%
古城	331	93.0%	341	93.42%
房山	344	96.6%	345	94.52%
大兴	336	94.4%	343	93.97%
亦庄	331	93.0%	340	93.15%

通州	314	88.2%	343	93.97%
顺义	338	94.9%	346	94.79%
昌平	329	92.4%	332	90.96%
门头沟	328	92.1%	336	92.05%
平谷	331	93.0%	338	92.60%
怀柔	322	90.4%	343	93.97%
密云	333	93.5%	339	92.88%
延庆	342	96.1%	330	90.41%
定陵	331	93.0%	343	93.97%
八达岭	336	94.4%	315	86.30%
密云水库	310	87.1%	340	93.15%
东高村	330	92.7%	343	93.97%
永乐店	319	89.6%	334	91.51%
榆垓	274	77.0%	311	85.21%
琉璃河	317	89.0%	340	93.15%
前门	319	89.6%	302	82.74%
永定门内	339	95.2%	339	92.88%
西直门北	314	88.2%	329	90.14%
南三环	305	85.7%	338	92.60%
东四环	326	91.6%	332	90.96%

3.3 月数据有效性判定

表 9 北京市各监测点颗粒物浓度月数据有效性判定结果

监测点名称	2014 年有效月个数	2015 年有效月个数
东四	11	11
天坛	8	11
官园	11	11
万寿西宫	9	11
奥体中心	10	11
农展馆	11	10

万柳	11	11
北部新区	10	9
植物园	8	7
丰台花园	10	11
云岗	11	11
古城	11	11
房山	11	10
大兴	10	10
亦庄	10	10
通州	8	10
顺义	10	11
昌平	10	10
门头沟	9	9
平谷	10	10
怀柔	9	11
密云	10	11
延庆	11	9
定陵	10	11
八达岭	10	8
密云水库	8	11
东高村	10	11
永乐店	8	10
榆垓	7	8
琉璃河	9	10
前门	9	7
永定门内	11	10
西直门北	10	9
南三环	10	11
东四环	10	9

3.4 年数据有效性评价

《环境空气质量标准（GB 3095—2012）》要求全年 365 天，至少需要有 324 个有效日数据。表明，有效日占比至少需要高于 88.76%。

按照这一标准，对 PM_{2.5} 的监测，除榆垓等个别监测点未满足年数据有效性判定标准外，其他监测点均达到了年数据有效性要求。

天津、河北等城市各监测点除天山路等个别监测点未满足年数据有效性判定标准外，其他监测点均达到了年数据有效性要求。

4 监测点环境空气质量达标判定

《环境空气质量标准（GB 3095—2012）》规定了常规污染物的浓度限值标准如下表所示。京津冀各监测点执行国家空气质量二级标准。

表 10 国家环境空气质量浓度标准

污染物项目	平均时间	浓度限值		单位
		一级	二级	
SO ₂	年平均	20	60	μg/m ³
	24 小时平均	50	150	
	1 小时平均	150	500	
NO ₂	年平均	40	40	μg/m ³
	24 小时平均	80	80	
	1 小时平均	200	200	
CO	24 小时平均	4	4	mg/m ³
	1 小时平均	10	10	
O ₃	日最大 8 小时平均	100	160	μg/m ³
	1 小时平均	160	200	
PM ₁₀	年平均	40	70	μg/m ³
	24 小时平均	50	150	
PM _{2.5}	年平均	15	35	μg/m ³
	24 小时平均	35	75	

4.1 北京市环境空气质量达标判定

基于有效日数据计算 PM2.5 年平均浓度值，年平均值和日平均值达标情况如表 11 所示：

表 11 北京市各监测点 PM2.5 达标判定（2014）

监测点名称	年平均浓度值	年平均浓度达标情况	24 小时平均浓度值超标次数	24 小时平均浓度值超标次数占比
东四	85.74	超标	146	43.3%
天坛	87.00	超标	147	47.1%
官园	87.69	超标	157	47.3%
万寿西宫	88.10	超标	148	45.8%
奥体中心	88.18	超标	153	47.2%
农展馆	87.14	超标	154	46.8%
万柳	87.97	超标	159	47.0%
北部新区	85.16	超标	162	48.1%
植物园	79.48	超标	135	41.4%
丰台花园	98.60	超标	170	51.5%
云岗	90.01	超标	156	46.7%
古城	86.45	超标	149	45.0%
房山	100.23	超标	177	51.5%
大兴	104.24	超标	189	56.3%
亦庄	105.20	超标	181	54.7%
通州	107.03	超标	180	57.3%
顺义	83.27	超标	147	43.5%
昌平	76.13	超标	131	39.8%
门头沟	75.50	超标	129	39.3%
平谷	77.73	超标	137	41.4%
怀柔	76.34	超标	132	41.0%
密云	71.81	超标	115	34.5%
延庆	74.32	超标	127	37.1%
定陵	71.20	超标	115	34.7%
八达岭	64.96	超标	106	31.5%

密云水库	65.39	超标	100	32.3%
东高村	73.39	超标	128	38.8%
永乐店	110.41	超标	178	55.8%
榆垓	101.18	超标	144	52.6%
琉璃河	122.74	超标	198	62.5%
前门	98.43	超标	173	54.2%
永定门内	97.45	超标	178	52.5%
西直门北	92.83	超标	155	49.4%
南三环	101.71	超标	165	54.1%
东四环	93.57	超标	164	50.3%

表 12 北京市各监测点 PM2.5 达标判定 (2015)

监测点名称	年平均浓度值	年平均浓度达标情况	24 小时平均浓度值超标次数	24 小时平均浓度值超标次数占比 (%)
东四	87.50	超标	152	41.64
天坛	82.36	超标	145	39.73
官园	82.54	超标	144	39.45
万寿西宫	84.72	超标	137	37.53
奥体中心	82.45	超标	146	40.00
农展馆	85.78	超标	148	40.55
万柳	80.68	超标	143	39.18
北部新区	81.04	超标	142	38.90
植物园	69.75	超标	119	32.60
丰台花园	91.71	超标	156	42.74
云岗	81.77	超标	141	38.63
古城	83.83	超标	147	40.27
房山	95.76	超标	165	45.21
大兴	95.28	超标	160	43.84
亦庄	96.35	超标	160	43.84
通州	93.05	超标	163	44.66
顺义	81.82	超标	149	40.82

昌平	69.93	超标	121	33.15
门头沟	68.92	超标	116	31.78
平谷	76.79	超标	133	36.44
怀柔	70.74	超标	126	34.52
密云	68.27	超标	113	30.96
延庆	62.21	超标	103	28.22
定陵	64.65	超标	109	29.86
八达岭	54.87	超标	87	23.84
密云水库	53.05	超标	83	22.74
东高村	75.98	超标	138	37.81
永乐店	103.18	超标	180	49.32
榆垓	100.48	超标	166	45.48
琉璃河	111.91	超标	184	50.41
前门	90.72	超标	137	37.53
永定门内	88.91	超标	157	43.01
西直门北	84.62	超标	145	39.73
南三环	96.27	超标	164	44.93
东四环	91.14	超标	157	43.01

4.2 天津和河北各地级市监测点 PM2.5 达标判定

天津及河北各地级市行政区 PM2.5 达标情况如表 13 所示：

表 13 2015 年天津及河北各城市行政区 PM_{2.5} 达标判定

城市	行政区	年平均浓度值	年平均浓度达标情况
天津	和平区	71.1	超标
	河东区	69.6	超标
	河西区	72.8	超标
	南开区	68.9	超标
	河北区	72.6	超标
	红桥区	69.3	超标
	东丽区	66.2	超标

	北辰区	75.7	超标
	滨海新区	69.8	超标
	静海县	84.7	超标
	其他区县	71.2	超标
石家庄	长安区	86.6	超标
	桥西区	83.9	超标
	新华区	97.6	超标
	裕华区	90.7	超标
	其他区县	89.3	超标
唐山	路北区	85.7	超标
	路南区	82.0	超标
	其他区县	84.5	超标
秦皇岛	海港区	46.5	超标
	山海关区	49.1	超标
	北戴河区	48.9	超标
	其他区县	47.5	超标
邯郸	邯山区	96.9	超标
	丛台区	89.0	超标
	其他区县	91.0	超标
保定	新市区	100.2	超标
	北市区	113.2	超标
	南市区	107.8	超标
	其他区县	107.1	超标
张家口	桥东区	32.4	达标
	桥西区	36.9	超标
	其他区县	33.5	达标
承德	双桥区	41.7	超标
	双滦区	41.7	超标
	其他区县	41.7	超标
廊坊	安次区	86.2	超标
	广阳区	84.8	超标
	其他区县	85.1	超标

沧州	新华区	72.2	超标
	运河区	69.2	超标
	其他区县	70.2	超标
衡水	桃城区	99.4	超标
	其他区县	99.4	超标
邢台	桥东区	99.7	超标
	桥西区	101.8	超标
	其他区县	100.1	超标

5 PM2.5 达标情景下浓度推测

拟采用 Rollback to Standard 方法，推测北京市空气质量达标情景下各监测点污染物浓度值。

根据《环境空气质量评价技术规范（试行）（HJ 663—2013）》，在空气质量达标情景下，PM2.5 全年日浓度值的百分之 95 分位数值需要不超过日平均浓度限值。

采用 Rollback to Standard 方法，在 PM2.5 全年日浓度值的百分之 95 分位数不超过日平均浓度限值的情景下，其他日平均浓度值按照等比例削减，得到对空气质量达标情景下的 PM2.5 浓度值的估计，基于此计算空气质量达标情景下的 PM2.5 年平均浓度。这里，假定北京市 PM2.5 背景浓度为零。

5.1 监测点 PM2.5 日平均浓度百分之 95 分位数值及其超标倍数

表 15 北京各监测点 PM2.5 日平均浓度 95%分位数及其超标倍数

监测点名称	2014 年 PM2.5 日平均浓度百分之 95 分位数值	2014 年达标情景下 PM2.5 日平均浓度百分之 95 分位数值超标倍数	2015 年 PM2.5 日平均浓度百分之 95 分位数值	2014 年达标情景下 PM2.5 日平均浓度百分之 95 分位数值超标倍数
东四	232.5	210%	244.0	225%
天坛	227.5	203%	248.0	231%
官园	228.3	204%	238.2	218%
万寿西宫	244.0	225%	258.0	244%
奥体中心	242.5	223%	237.2	216%
农展馆	243.3	224%	252.0	236%
万柳	229.6	206%	225.8	201%

北部新区	231.6	209%	226.2	202%
植物园	233.5	211%	200.7	168%
丰台花园	279.6	273%	263.3	251%
云岗	251.0	235%	235.8	214%
古城	230.3	207%	251.1	235%
房山	283.0	277%	265.1	253%
大兴	273.6	265%	290.2	287%
亦庄	276.4	269%	290.1	287%
通州	281.0	275%	266.6	255%
顺义	222.7	197%	226.7	202%
昌平	221.2	195%	192.2	156%
门头沟	215.5	187%	189.1	152%
平谷	195.0	160%	213.4	184%
怀柔	211.4	182%	197.0	163%
密云	212.4	183%	194.0	159%
延庆	209.1	179%	170.8	128%
定陵	224.7	200%	190.2	154%
八达岭	194.4	159%	138.6	85%
密云水库	193.0	157%	150.0	100%
东高村	185.0	147%	209.1	179%
永乐店	296.2	295%	278.6	271%
榆垓	266.5	255%	294.6	293%
琉璃河	306.0	308%	320.6	327%
前门	252.5	237%	261.9	249%
永定门内	262.4	250%	247.3	230%
西直门北	262.7	250%	237.8	217%
南三环	272.0	263%	278.8	272%
东四环	252.8	237%	270.9	261%

5.2 空气质量达标情景下各监测点 PM2.5 浓度值

各个监测点 PM2.5 百分之九十五分位数值降低到 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的水平，监测点其他日平均浓度值按照等比例削减，得到各个监测点年平均浓度值如下表所示：

表 16 空气质量达标情景下北京各监测点 PM2.5 年平均浓度值（2014）

监测点名称	2014 年平均浓度值（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）	达标情景下年平均浓度值（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）	年平均浓度值下降值（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）
东四	85.74	40.83	44.91
天坛	87.00	42.79	44.21
官园	87.69	42.88	44.81
万寿西宫	88.10	39.10	49
奥体中心	88.18	39.49	48.69
农展馆	87.14	38.83	48.31
万柳	87.97	42.68	45.29
北部新区	85.16	40.79	44.37
植物园	79.48	37.59	41.89
丰台花园	98.60	36.14	62.46
云岗	90.01	38.37	51.64
古城	86.45	41.76	44.69
房山	100.23	36.15	64.08
大兴	104.24	39.37	64.87
亦庄	105.20	39.16	66.04
通州	107.03	38.96	68.07
顺义	83.27	42.27	41
昌平	76.13	39.06	37.07
门头沟	75.50	40.31	35.19
平谷	77.73	48.58	29.15
怀柔	76.34	41.99	34.35
密云	71.81	39.20	32.61
延庆	74.32	41.56	32.76
定陵	71.20	35.67	35.53
八达岭	64.96	40.83	24.13

密云水库	65.39	41.57	23.82
东高村	73.39	50.03	23.36
永乐店	110.41	37.44	72.97
榆垓	101.18	39.63	61.55
琉璃河	122.74	39.87	82.87
前门	98.43	41.60	56.83
永定门内	97.45	39.00	58.45
西直门北	92.83	37.09	55.74
南三环	101.71	38.72	62.99
东四环	93.57	39.48	54.09

表 17 空气质量达标情景下北京各监测点 PM2.5 年平均浓度值 (2015)

监测点名称	2015 年平均浓度值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	达标情景下年平均浓度值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	年平均浓度值下降值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
东四	87.50	26.67	60.83
天坛	82.36	24.70	57.66
官园	82.54	25.77	56.77
万寿西宫	84.72	24.42	60.30
奥体中心	82.45	25.85	56.59
农展馆	85.78	25.31	60.47
万柳	80.68	26.59	54.09
北部新区	81.04	26.65	54.39
植物园	69.75	25.86	43.88
丰台花园	91.71	25.90	65.81
云岗	81.77	25.80	55.97
古城	83.83	24.83	59.00
房山	95.76	26.86	68.90
大兴	95.28	24.41	70.88
亦庄	96.35	24.69	71.66
通州	93.05	25.95	67.10
顺义	81.82	26.85	54.97
昌平	69.93	27.10	42.84

门头沟	68.92	27.14	41.78
平谷	76.79	26.78	50.00
怀柔	70.74	26.73	44.01
密云	68.27	26.20	42.07
延庆	62.21	27.13	35.08
定陵	64.65	25.31	39.33
八达岭	54.87	29.53	25.34
密云水库	53.05	26.36	26.68
东高村	75.98	27.04	48.94
永乐店	103.18	27.53	75.64
榆垓	100.48	25.35	75.12
琉璃河	111.91	25.94	85.97
前门	90.72	25.76	64.96
永定门内	88.91	26.74	62.17
西直门北	84.62	26.47	58.14
南三环	96.27	25.67	70.60
东四环	91.14	25.01	66.13

表 18 2015 空气质量达标情景下天津及河北各行政区.5 年平均浓度值 (2015)

城市	行政区	2015 年平均 浓度值 (μ g/m ³)	达标情景下年平 均浓度值 (μ g/m ³)	年平均浓度值下 降值 (μ g/m ³)
天津	和平区	71.1	27.9	43.2
	河东区	69.6	27.8	41.8
	河西区	72.8	28.2	44.6
	南开区	68.9	29.1	39.8
	河北区	72.6	28.1	44.5
	红桥区	69.3	33.8	35.5
	东丽区	66.2	34.6	31.6
	北辰区	75.7	34.2	41.5
	滨海新区	69.8	30.1	39.7
	静海县	84.7	29.7	55
其他区县	71.2	29.2	42	
石家庄	长安区	86.6	30.5	56.1

	桥西区	83.9	30.3	53.6
	新华区	97.6	29.3	68.3
	裕华区	90.7	30.5	60.2
	其他区县	89.3	28.2	61.1
唐山	路北区	85.7	28.9	56.8
	路南区	82.0	29.4	52.6
	其他区县	84.5	28.8	55.7
秦皇岛	海港区	46.5	31.6	14.9
	山海关区	49.1	32.6	16.5
	北戴河区	48.9	32.3	16.6
	其他区县	47.5	31.1	16.4
邯郸	邯山区	96.9	29.6	67.3
	丛台区	89.0	30.9	58.1
	其他区县	91.0	29.3	61.7
保定	新市区	100.2	28.1	72.1
	北市区	113.2	28.0	85.2
	南市区	107.8	31.9	75.9
	其他区县	107.1	33.5	73.6
张家口	桥东区	32.4	33.2	-0.8
	桥西区	36.9	32.2	4.7
	其他区县	33.5	32.2	1.3
承德	双桥区	41.7	28.5	13.2
	双滦区	41.7	29.9	11.8
	其他区县	41.7	28.9	12.8
廊坊	安次区	86.2	27.9	58.3
	广阳区	84.8	27.8	57
	其他区县	85.1	28.2	56.9
沧州	新华区	72.2	29.1	43.1
	运河区	69.2	28.1	41.1
	其他区县	70.2	33.8	36.4
衡水	桃城区	99.4	34.6	64.8
	其他区县	99.4	34.2	65.2
邢台	桥东区	99.7	30.1	69.6
	桥西区	101.8	29.7	72.1
	其他区县	100.1	29.2	70.9

5.3 基于美国环境空气质量标准的达标浓度推算

当空气质量标准规定更加严格的浓度限值，则基准值也将更加严格。相比于更加严格的基准值，PM_{2.5} 健康损害评估结果将更大。若以美国 NAAQS 标准关于 PM_{2.5} 浓度限值的规定作为基准，则评估结果如下：

美国 NAAQS 标准中，关于 PM_{2.5} 浓度限值做如下规定：计算一年中监测点日平均浓度值的 98%分位数值，连续三年内，该 98%分位数值值的平均值不得超过 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

按照美国 NAAQS 标准关于 PM_{2.5} 的规定，运用 Rollback to Standard 方法估计北京市各监测点达到 NAAQS 标准情景下的 PM_{2.5} 浓度值。计算结果如下表所示：

表 19 达到美国 NAAQS 标准情景下的 2014 年北京市 PM_{2.5} 浓度值

	浓度值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NAAQS 达标浓度值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	浓度值降低 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
东城	92.16	11.1	81.1
西城	89.54	11.1	78.4
朝阳	89.63	10.3	79.3
海淀	84.20	10.5	73.7
丰台	96.77	10.8	86.0
石景山	86.45	10.4	76.1
昌平	73.66	9.4	64.3
大兴	103.54	10.5	93.0
房山	111.49	10.1	101.4
怀柔	76.34	10.3	66.0
门头沟	75.50	9.7	65.8
密云	68.60	10.1	58.5
平谷	75.56	11.6	64.0
顺义	83.27	10.7	72.6
通州	108.72	10.7	98.0
延庆	69.64	10.2	59.4

表 20 达到美国 NAAQS 标准情景下的 2015 年北京市 PM_{2.5} 浓度值

	浓度值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NAAQS 达标浓度值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	浓度值降低 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
东城	87.4	9.9	77.50
西城	84.0	9.8	74.14
朝阳	86.5	9.8	76.67
海淀	77.2	10.1	67.03
丰台	89.9	9.9	80.03

石景山	83.8	9.7	74.09
昌平	67.3	10.1	57.20
大兴	97.4	8.7	88.63
房山	103.8	9.6	94.23
怀柔	70.7	10.2	60.55
门头沟	68.9	9.8	59.09
密云	60.7	10.0	50.70
平谷	76.4	10.2	66.23
顺义	81.8	10.8	71.02
通州	98.1	10.0	88.09
延庆	54.9	10.7	47.80

表 21 达到美国 NAAQS 标准情景下的 2015 年天津及河北各城市 PM2.5 浓度值

城市	行政区	2015 年平均 浓度值 (μ g/m ³)	NAAQS 达标浓度值 (μ g/m ³) (μ g/m ³)	年平均浓度值下 降值 (μ g/m ³)
天津	和平区	71.1	10.7	60.4
	河东区	69.6	11.1	58.5
	河西区	72.8	10.6	62.2
	南开区	68.9	10.0	58.9
	河北区	72.6	10.9	61.7
	红桥区	69.3	10.3	59.0
	东丽区	66.2	9.8	56.4
	北辰区	75.7	9.9	65.8
	滨海新区	69.8	10.1	59.7
	静海县	84.7	11.2	73.5
其他区县	71.2	10.8	60.4	
石家庄	长安区	86.6	10.2	76.4
	桥西区	83.9	11.2	72.7
	新华区	97.6	10.5	87.1
	裕华区	90.7	11.0	79.7
	其他区县	89.3	11.1	78.2
唐山	路北区	85.7	11.1	74.6
	路南区	82.0	10.7	71.3
	其他区县	84.5	10.3	74.2
秦皇岛	海港区	46.5	10.0	36.5
	山海关区	49.1	11.3	37.8
	北戴河区	48.9	10.6	38.3

	其他区县	47.5	11.2	36.3
邯郸	邯山区	96.9	10.9	86.0
	丛台区	89.0	10.8	78.2
	其他区县	91.0	10.1	80.9
保定	新市区	100.2	10.9	89.3
	北市区	113.2	11.2	102.0
	南市区	107.8	11.1	96.7
	其他区县	107.1	10.1	97.0
张家口	桥东区	32.4	9.9	22.5
	桥西区	36.9	10.4	26.5
	其他区县	33.5	10.2	23.3
承德	双桥区	41.7	10.8	30.9
	双滦区	41.7	11.2	30.5
	其他区县	41.7	10.7	31.0
廊坊	安次区	86.2	10.8	75.4
	广阳区	84.8	10.1	74.7
	其他区县	85.1	11.0	74.1
沧州	新华区	72.2	10.0	62.2
	运河区	69.2	11.2	58.0
	其他区县	70.2	10.2	60.0
衡水	桃城区	99.4	10.5	88.9
	其他区县	99.4	10.0	89.4
邢台	桥东区	99.7	9.8	89.9
	桥西区	101.8	10.3	91.5
	其他区县	100.1	10.4	89.7

6 PM2.5 浓度超标所致人群健康损失评估结果

6.1 PM2.5 与人群健康“剂量-反应”关系参数的确定

PM2.5 与死亡率“剂量-反应”关系参数的取值，国外方面，美国 EPA 推荐使用 Pope (2002) 和 Laden (2006) 的研究成果，取两项研究的平均值，该取值也与 12 位专家审查的结果基本一致 (Roman, 2008)。国内关于 PM2.5 的已有流行病学研究成果多以日为时间尺度建立时间序列模型 (戴海夏, 2004; Kan H, 2007; Chen R, 2011; Ma Y, 2011; Huang W, 2012; Cao J, 2012; Yang C, 2012)，而队列研究仍然缺乏。在国内研究相对缺乏的情况下，本研究从谨慎性的角度出发，参数取值

将主要参考美国 BenMAP 软件所推荐使用的“剂量-反应”关系参数：

PM2.5 浓度同心脑血管住院率，美国 EPA 使用了 Moolgavkar (2000)、Zanobetti (2009)、Peng (2008、2009) 和 Bell (2008) 的研究成果。在上述研究中，只有 Moolgavkar (2000) 对 18-64 岁人群做了研究，而其他研究都是对 65 岁以上人群所做的研究。因此，在选用“剂量-反应”关系参数时，对于 65 岁以下人群，使用 Moolgavkar (2000) 人群的研究结果，PM2.5 浓度同心脑血管住院率为对数线性关系， β 值取值为 0.0014；对于 65 岁以上人群，综合 Moolgavkar (2000) 等人的研究成果，其中，Moolgavkar (2000) 给出了较高的 β 取值，PM2.5 浓度同心脑血管疾病住院率为对数线性关系， β 值取值为 0.00158。

PM2.5 浓度同呼吸系统疾病住院率关系，美国 EPA 使用了 Moolgavkar (2003)、Zanobetti (2009)、Babin (2007) 和 Sheppard (2003) 的研究成果。对于 65 岁以上人群，使用 Zanobetti (2009) 的研究结果，PM2.5 浓度同呼吸系统疾病住院率为对数线性关系， β 值取值为 0.0021；对于 18-64 岁年龄阶段人群，使用 Moolgavkar (2003) 研究成果，PM2.5 浓度同呼吸系统疾病住院率为对数线性关系， β 值取值 0.00185；对于 0-17 岁年龄段人群，综合 Babin (2007) 等人的研究成果，PM2.5 浓度同呼吸系统疾病住院率为对数线性关系， β 值取值为 0.002。

国内有部分文献给出了 PM2.5 所致急性病发病死亡风险，PM2.5 与日死亡率关系的 meta 分析结果表明，当 PM2.5 日平均浓度上升 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的情况下，人群日死亡率将相对于基期水平增加 0.37% (95%CI: 0.26%, 0.48%)。在计算 PM2.5 所致急性健康风险时，会考虑 PM2.5 急性致死效应

表 22 PM2.5 与疾病死亡、发病和住院率的“剂量-反应”关系参数取值

健康终点	“剂量-反应”关系 β 值	来源
心脑血管疾病死亡率	0.017	Pope、Laden
呼吸系统疾病死亡率	0.005	Pope、Laden
肺癌死亡率	0.0186	Pope、Laden
心脑血管疾病住院率	0.0014 (<65 岁)	Moolgavkar、Zanobetti、Peng、Bell
	0.00158 (>65 岁)	
呼吸系统疾病住院率	0.002 (<17 岁)	Moolgavkar、Zanobetti、Babin、Sheppard
	0.00185 (18-64 岁)	
	0.0021 (>65 岁)	
慢性支气管炎发病率	0.0132 (>20 岁)	Abbey*
哮喘急诊率	0.00425	Mar、Slaughter

*该研究采用逻辑斯蒂模型形态，在应用该模型时，需要将慢性支气管炎发病率指标调整为发病与未发病人口的比值

6.2 人口

2014年，北京市各行政区常住人口如表所示：

表 23 2014年北京市各行政区在常住人口及年龄分布（单位：万人）

	常住人口	65岁以上	0到14岁	15到64岁
东城	91.1	9.0	9.0	73.1
西城	130.2	12.9	12.9	104.4
朝阳	392.2	38.8	38.8	314.5
海淀	367.8	36.4	36.4	295.0
丰台	230	22.8	22.8	184.5
石景山	65	6.4	6.4	52.1
昌平	190.8	18.9	18.9	153.0
大兴	154.5	15.3	15.3	123.9
房山	103.6	10.3	10.3	83.1
怀柔	38.1	3.8	3.8	30.6
门头沟	30.6	3.0	3.0	24.5
密云	47.8	4.7	4.7	38.3
平谷	42.3	4.2	4.2	33.9
顺义	100.4	9.9	9.9	80.5
通州	135.6	13.4	13.4	108.8
延庆	31.6	3.1	3.1	25.3

2015年，北京市各行政区常住人口如表所示：

表 24 2015年北京市各行政区在常住人口及年龄分布（单位：万人）

	常住人口	65岁以上	0到14岁	15到64岁
东城	91.9	9.5	9.3	73.2
西城	131.4	13.5	13.3	104.6
朝阳	395.7	40.8	40.0	314.9
海淀	371.0	38.2	37.5	295.4
丰台	232.0	23.9	23.4	184.7
石景山	65.6	6.8	6.6	52.2
昌平	192.5	19.8	19.4	153.2
大兴	155.9	16.1	15.7	124.1
房山	104.5	10.8	10.6	83.2
怀柔	38.4	4.0	3.9	30.6
门头沟	30.9	3.2	3.1	24.6
密云	48.2	5.0	4.9	38.4

平谷	42.7	4.4	4.3	34.0
顺义	101.3	10.4	10.2	80.6
通州	136.8	14.1	13.8	108.9
延庆	31.9	3.3	3.2	25.4

2015年，天津及河北各城市各行政区常住人口如表所示：

表 25 2015年天津及河北城市各行政区常住人口及年龄分布

城市	行政区	常住人口	65岁以上	0到14岁	15到64岁
天津	和平区	27.3	2.5	4.9	20.0
	河东区	86.1	7.9	15.3	62.9
	河西区	87.1	8.0	15.5	63.6
	南开区	101.8	9.3	18.1	74.4
	河北区	78.8	7.2	14.0	57.6
	红桥区	53.2	4.9	9.5	38.8
	东丽区	57.0	5.2	10.1	41.6
	北辰区	66.9	6.1	11.9	48.9
	滨海新区	248.2	22.8	44.2	181.3
	静海县	64.7	5.9	11.5	47.2
	其他区县	422.7	38.8	75.2	308.7
石家庄	长安区	48.0	4.4	8.5	35.0
	桥西区	59.6	5.5	10.6	43.5
	新华区	62.5	5.7	11.1	45.7
	裕华区	62.9	5.8	11.2	45.9
	其他区县	783.4	71.8	139.4	572.1
唐山	路北区	74.4	6.8	13.2	54.3
	路南区	31.1	2.9	5.5	22.7
	其他区县	652.3	59.8	116.1	476.4
秦皇岛	海港区	76.5	7.0	13.6	55.9
	山海关区	17.9	1.6	3.2	13.1
	北戴河区	8.6	0.8	1.5	6.3
	其他区县	195.8	18.0	34.9	143.0
邯郸	邯山区	38.6	3.5	6.9	28.2
	丛台区	36.4	3.3	6.5	26.6
	其他区县	842.5	77.3	150.0	615.3
保定	新市区	46.3	4.2	8.2	33.8
	北市区	38.7	3.6	6.9	28.3
	南市区	28.8	2.6	5.1	21.0
	其他区县	1005.6	92.2	179.0	734.4
张家口	桥东区	33.9	3.1	6.0	24.8

	桥西区	28.8	2.6	5.1	21.0
	其他区县	371.8	34.1	66.2	271.5
承德	双桥区	42.5	3.9	7.6	31.0
	双滦区	14.7	1.3	2.6	10.7
	其他区县	290.1	26.6	51.6	211.9
廊坊	安次区	36.8	3.4	6.5	26.9
	广阳区	50.0	4.6	8.9	36.5
	其他区县	349.1	32.0	62.1	254.9
沧州	新华区	22.8	2.1	4.1	16.7
	运河区	30.8	2.8	5.5	22.5
	其他区县	659.7	60.5	117.4	481.8
衡水	桃城区	52.2	4.8	9.3	38.1
	其他区县	381.9	35.0	68.0	278.9
邢台	桥东区	27.0	2.5	4.8	19.7
	桥西区	40.1	3.7	7.1	29.3
	其他区县	643.4	59.0	114.5	469.9

6.3 当前 PM2.5 浓度下人群健康效应评估

据北京市公共卫生信息中心《2013年北京市卫生工作统计资料简编》公布的数据显示，2013年北京市居民心脑血管疾病死亡率为288/10万，呼吸系统疾病死亡率为58/10万，肺癌死亡率约占恶性肿瘤死亡率的29%，为48/10万。

而据北京市公共卫生信息中心《2014年北京市卫生工作统计资料简编》公布的数据显示，2014年北京市居民心脑血管疾病死亡率为286/10万，呼吸系统疾病死亡率为63/10万，肺癌死亡率为49/10万。

将北京市基期死亡率数据以及各个监测点的PM2.5浓度数据带入“剂量-反应”模型，得到各个监测点当前PM2.5浓度下相对于PM2.5达标情景下，所导致人群死亡人数如下表和表所示：

表 26 2014年北京PM_{2.5}浓度超标所致居民死亡

行政区	人口(万人)	心脑血管疾病死亡人数	呼吸系统疾病死亡人数	肺癌死亡人数
东城	91.1	1731	144	303
西城	130.2	2436	200	427
朝阳	392.2	7354	606	1288
海淀	367.8	6541	525	1149
丰台	230	4582	390	799
石景山	65	1173	95	206

昌平	190.8	3085	238	544
大兴	154.5	3198	279	556
房山	103.6	2253	204	391
怀柔	38.1	619	48	109
门头沟	30.6	497	38	88
密云	47.8	712	53	126
平谷	42.3	655	50	116
顺义	100.4	1754	140	308
通州	135.6	2904	259	504
延庆	31.6	475	36	84
合计	2151.6	39967	3305	6997

表 27 2015 年北京 PM_{2.5} 浓度超标所致居民死亡

行政区	人口（万人）	心脑血管疾病死亡人数	呼吸系统疾病死亡人数	肺癌死亡人数
东城	91.9	1703	153	307
西城	131.4	2364	209	426
朝阳	395.7	7307	656	1316
海淀	371.0	6137	524	1111
丰台	232.0	4405	401	792
石景山	65.6	1188	106	214
昌平	192.5	2766	225	504
大兴	155.9	3159	299	566
房山	104.5	2188	211	391
怀柔	38.4	579	48	105
门头沟	30.9	449	37	82
密云	48.2	610	48	112
平谷	42.7	694	59	126
顺义	101.3	1759	153	318
通州	136.8	2750	259	493
延庆	31.9	366	28	67
合计	2170.6	38423	3416	6930

据天津市卫生统计年鉴,2014 年天津市居民心脑血管疾病死亡率为 386/10 万,呼吸系统疾病死亡率为 57/10 万,肺癌死亡率为 46/10 万。据 2014 年在石家庄进行的卫生统计调查,石家庄市居民心脑血管疾病死亡率为 298/10 万,呼吸系统疾病死亡率为 28/10 万,肺癌死亡率为 30/10 万。河北省其他城市的死亡率数据暂不可得,用石家庄市居民死亡率数据代表。

将天津及河北各城市 2015 年基期死亡率数据、各行政区的 PM_{2.5} 浓度数据和各行政区人口带入“剂量-反应”模型，计算得到 2015 年各行政区因 PM_{2.5} 浓度超标所致死亡人数如表 29 所示：

表 29 2015 年天津、河北各城市行政区 PM_{2.5} 浓度超标所致居民死亡

城市	行政区	人口（万人）	心脑血管疾病死亡人数	呼吸系统疾病死亡人数	肺癌死亡人数
天津	和平区	27.3	531	29	68
	河东区	86.1	1585	85	203
	河西区	87.1	1700	93	217
	南开区	101.8	1747	92	224
	河北区	78.8	1548	84	198
	红桥区	53.2	986	53	126
	东丽区	57.0	1052	56	135
	北辰区	66.9	1380	76	176
	滨海新区	248.2	4655	250	595
	静海县	64.7	1456	83	185
	其他区县	422.7	7968	429	1019
	合计	1293.8	24607	1331	3145
石家庄	长安区	48.0	906	35	96
	桥西区	59.6	1095	41	116
	新华区	62.5	1294	52	136
	裕华区	62.9	1219	47	128
	其他区县	783.4	15148	585	1596
	合计	1016.4	19662	760	2072
唐山	路北区	74.4	1302	48	138
	路南区	31.1	515	19	55
	其他区县	652.3	11200	410	1187
	合计	757.7	13017	477	1380
秦皇岛	海港区	76.5	554	17	60
	山海关区	17.9	150	5	16
	北戴河区	8.6	73	2	8
	其他区县	195.8	1470	45	159
	合计	298.8	2247	69	243
邯郸	邯山区	38.6	780	31	82
	丛台区	36.4	693	27	73
	其他区县	842.5	16176	622	1705
	合计	917.5	17649	680	1860
保定	新市区	46.3	978	40	103

	北市区	38.7	881	38	92
	南市区	28.8	633	26	66
	其他区县	1005.6	22103	921	2310
	合计	1119.4	24595	1025	2571
张家口	桥东区	33.9	13	0	1
	桥西区	28.8	60	2	7
	其他区县	371.8	218	6	24
	合计	434.5	291	8	32
承德	双桥区	42.5	210	6	23
	双滦区	14.7	82	2	9
	其他区县	290.1	1450	43	158
	合计	347.3	1742	52	189
廊坊	安次区	36.8	681	26	72
	广阳区	50.0	925	35	98
	其他区县	349.1	6478	245	684
	合计	435.9	8085	306	854
沧州	新华区	22.8	339	12	36
	运河区	30.8	419	14	45
	其他区县	659.7	9204	315	984
	合计	713.4	9962	341	1065
衡水	桃城区	52.2	1063	42	112
	其他区县	381.9	7772	308	817
	合计	434.1	8835	351	928
邢台	桥东区	27.0	566	23	59
	桥西区	40.1	845	34	89
	其他区县	643.4	13501	546	1416
	合计	710.4	14912	603	1564

2012年《中国卫生统计年鉴》公布的数据，2008年我国大城市心脑血管疾病住院率为24.5%，其中，65岁以上人口占心脑血管疾病住院率的66%，65岁以下人口占心脑血管疾病住院率的34%。根据第六次人口普查数据，北京市常住人口中65岁以上人口占比8.7%，65岁以下人口占比为91.3%。由此换算得到对北京市65岁以上人口心脑血管疾病住院率的结果为194%，65岁以下人口心脑血管疾病住院率的结果为9%。

计算因PM_{2.5}污染导致的心脑血管疾病死亡率。在日时间尺度下，将北京市心脑血管基期日平均住院率数据，以及各个监测点的PM_{2.5}日平均浓度数据带入“剂

量-反应”模型，得到各个监测点当前 PM2.5 浓度下所导致人群日死亡率。加总得到年时间尺度下各个监测相对于 PM2.5 为零时心脑血管疾病住院率上升的百分比及其绝对值，以代表其所在行政区人群相对于 PM2.5 为零时心脑血管疾病住院率上升的百分比及其绝对值的情况。再基于各行政区人口，计算得到各行政区在当前 PM2.5 浓度下，相对于 PM2.5 浓度达标情景下的心脑血管疾病住院人口数如下表所示：

表 30 北京市各行政区 PM2.5 浓度超标所致人群心脑血管疾病住院人口（2014）

行政区	65 岁以下心脑血管疾病住院 65 岁以上心脑血管疾病		合计
	人口数	住院人口数	
东城	611	1619	2230
西城	851	2256	3107
朝阳	2572	6816	9388
海淀	2212	5866	8078
丰台	1673	4430	6103
石景山	401	1063	1464
昌平	989	2623	3612
大兴	1203	3184	4387
房山	888	2347	3234
怀柔	200	530	730
门头沟	160	425	585
密云	220	585	806
平谷	207	551	758
顺义	588	1560	2149
通州	1128	2983	4111
延庆	148	392	540
合计	14052	37230	51283

表 31 北京市各行政区 PM2.5 浓度超标所致人群心脑血管疾病住院人口（2015）

行政区	65 岁以下心脑血管疾病住院 65 岁以上心脑血管疾病		合计
	人口数	住院人口数	
东城	592	1638	2230
西城	808	2236	3044
朝阳	2532	7008	9541
海淀	2003	5552	7555
丰台	1555	4301	5855
石景山	407	1126	1533
昌平	849	2357	3206
大兴	1167	3224	4392

房山	831	2295	3126
怀柔	181	503	684
门头沟	139	385	523
密云	179	498	677
平谷	225	624	850
顺义	589	1633	2222
通州	1013	2802	3815
延庆	105	291	396
合计	13176	36474	49650

根据 2012 年《中国卫生统计年鉴》公布的数据，2008 年我国大城市呼吸系统疾病住院率为 5%，其中，17 岁以下人口占因呼吸系统疾病住院人口的比例在 50% 以上，18-64 岁人口约为 20%，65 岁以上人口的比例约为 30%。根据第六次人口普查数据，北京市常住人口中 65 岁以上人口占比 8.7%，18-64 岁人口约占 83.7%，17 岁以下人口约占 8.6%。由此换算得到北京市各年龄段当前呼吸系统疾病住院率，17 岁以下人口约为 29%，65 岁人口约为 17%，17-65 岁人口约为 1.2%。

同理，计算各行政区在当前 PM2.5 浓度下，相对于 PM2.5 浓度达标情景下的呼吸系统疾病住院率上升百分比，并基于人口计算住院人数。

表 32 北京市各行政区 PM2.5 浓度超标所致人群呼吸系统疾病住院人口（2014）

行政区	15 岁以下呼吸系统疾病住院人口数	15 岁以下呼吸系统疾病住院人口数	65 岁以上呼吸系统疾病住院人口数	合计
东城	300	94	184	578
西城	419	131	256	806
朝阳	1264	395	775	2434
海淀	1089	340	668	2097
丰台	820	256	502	1578
石景山	198	62	121	380
昌平	488	152	299	939
大兴	588	184	360	1132
房山	433	135	265	833
怀柔	99	31	61	190
门头沟	79	25	49	152
密云	109	34	67	210
平谷	103	32	63	198
顺义	290	91	178	558
通州	551	172	337	1060
延庆	73	23	45	141

合计	6902	2156	4228	13286
表 33 北京市各行政区 PM2.5 浓度超标所致人群呼吸系统疾病住院人口 (2015)				
行政区	15 岁以下呼吸系统疾病住院人口数	15 岁以下呼吸系统疾病住院人口数	65 岁以上呼吸系统疾病住院人口数	合计
东城	298	90	186	574
西城	407	124	254	784
朝阳	1273	387	795	2454
海淀	1012	307	633	1952
丰台	780	237	487	1505
石景山	205	62	128	395
昌平	431	131	269	831
大兴	583	178	364	1125
房山	415	126	259	800
怀柔	92	28	57	177
门头沟	70	21	44	136
密云	91	28	57	176
平谷	114	35	71	220
顺义	297	90	186	573
通州	508	154	317	979
延庆	53	16	33	103
合计	6629	2014	4141	12783

其他急慢性病包括慢性阻塞性肺炎 (COPD) 发病和哮喘急诊等, 因 PM2.5 超标所致患病人数和急诊人数如表所示:

表 34 北京市各行政区 PM2.5 浓度超标所致及慢性病患病情况 (2014-2015)				
行政区	2014 慢性支气管炎患病人数	2014 哮喘患病人次	2015 慢性支气管炎患病人数	2015 哮喘患病人次
东城	3582	1885	3539	1823
西城	5029	2636	4894	2503
朝阳	15189	7953	15181	7789
海淀	13412	6893	12569	6310
丰台	9555	5106	9188	4760
石景山	2409	1252	2460	1259
昌平	6253	3107	5585	2722
大兴	6713	3636	6662	3512
房山	4775	2646	4641	2481
怀柔	1256	631	1174	579
门头沟	1008	506	907	445

密云	1432	701	1219	581
平谷	1322	663	1419	714
顺义	3587	1844	3623	1841
通州	6135	3382	5790	3072
延庆	956	471	727	344
合计	82613	43312	79579	40735

在日时间尺度下，将 2015 年天津、河北各市行政区的 $PM_{2.5}$ 日平均浓度数据、分年龄段心脑血管基期日平均住院率数据、和各行政区分年龄段人口带入“剂量-反应”模型，计算得到 2015 年天津、河北各城市行政区因 $PM_{2.5}$ 浓度达标可减少心脑血管疾病全年住院人数如表 35 所示：

表 35 2015 年天津、河北各市行政区 $PM_{2.5}$ 浓度超标所致的人群心脑血管疾病住院人数

城市	行政区	人口（万人）	65 岁以下心脑血管疾病住院人口数	65 岁以上心脑血管疾病住院人口数	合计
天津	和平区	27.3	119	290	409
	河东区	86.1	360	881	1241
	河西区	87.1	387	947	1334
	南开区	101.8	178	436	614
	河北区	78.8	357	873	1230
	红桥区	53.2	223	544	767
	东丽区	57.0	237	579	816
	北辰区	66.9	318	777	1095
	滨海新区	248.2	1067	2606	3673
	静海县	64.7	338	824	1162
	其他区县	422.7	1920	4688	6608
	合计	1293.8	5504	13443	18947
石家庄	长安区	48.0	302	735	1037
	桥西区	59.6	359	875	1234
	新华区	62.5	459	1117	1576
	裕华区	62.9	414	1009	1423
	其他区县	783.4	5137	12511	17648
	合计	1016.4	6670	16246	22916
唐山	路北区	74.4	420	1024	1444
	路南区	31.1	161	394	555
	其他区县	652.3	3574	8723	12297
	合计	757.7	4155	10142	14297
秦皇岛	海港区	76.5	140	344	484

	山海关区	17.9	38	94	132
	北戴河区	8.6	18	45	63
	其他区县	195.8	398	976	1374
	合计	298.8	595	1458	2053
邯郸	邯山区	38.6	275	670	945
	丛台区	36.4	234	570	804
	其他区县	842.5	5492	13387	18879
	合计	917.5	6001	14627	20628
保定	新市区	46.3	353	858	1211
	北市区	38.7	340	826	1166
	南市区	28.8	237	575	812
	其他区县	1005.6	8260	20071	28331
	合计	1119.4	9189	22330	31519
张家口	桥东区	33.9	3	7	10
	桥西区	28.8	14	34	48
	其他区县	371.8	49	122	171
	合计	434.5	66	163	229
承德	双桥区	42.5	51	125	176
	双滦区	14.7	20	49	69
	其他区县	290.1	353	867	1220
	合计	347.3	424	1041	1465
廊坊	安次区	36.8	221	539	760
	广阳区	50.0	304	742	1046
	其他区县	349.1	2135	5200	7335
	合计	435.9	2660	6481	9141
沧州	新华区	22.8	101	246	347
	运河区	30.8	121	297	418
	其他区县	659.7	2688	6570	9258
	合计	713.4	2910	7113	10023
衡水	桃城区	52.2	374	911	1285
	其他区县	381.9	2737	6665	9402
	合计	434.1	3112	7576	10688
邢台	桥东区	27.0	203	495	698
	桥西区	40.1	304	740	1044
	其他区县	643.4	4844	11785	16629
	合计	710.4	5351	13019	18370

在日时间尺度下,将 2015 年天津、河北各城市行政区的 $PM_{2.5}$ 日平均浓度数据、

分年龄段呼吸系统疾病基期日平均住院率数据、和各行政区分年龄段人口带入“剂量-反应”模型，计算得到 2015 年天津、河北各城市行政区因 PM2.5 浓度超标所致的呼吸系统疾病全年住院人数如表 36 所示：

表 36 2015 年天津、河北各城市行政区 PM_{2.5} 浓度超标所致的人群呼吸系统疾病住院人口

城市	行政区	人口(万人)	15 岁以下 呼吸系统疾 病住院人口 数	15 到 64 岁呼 吸系统疾病 住院人口数	65 岁以上呼 吸系统疾病 住院人口数	合计
天津	和平区	27.3	105	17	33	155
	河东区	86.1	320	50	101	471
	河西区	87.1	343	54	109	506
	南开区	101.8	159	25	50	234
	河北区	78.8	316	50	100	466
	红桥区	53.2	197	31	62	290
	东丽区	57.0	210	33	66	309
	北辰区	66.9	281	44	89	414
	滨海新区	248.2	946	149	299	1394
	静海县	64.7	298	47	94	439
	其他区县	422.7	1700	268	537	2505
	合计	1293.8	4875	770	1541	7186
石家庄	长安区	48.0	265	42	84	391
	桥西区	59.6	315	50	100	465
	新华区	62.5	402	64	127	593
	裕华区	62.9	363	57	115	535
	其他区县	783.4	4508	713	1423	6644
		合计	1016.4	5853	926	1848
唐山	路北区	74.4	371	59	117	547
	路南区	31.1	143	23	45	211
	其他区县	652.3	3159	499	998	4656
		合计	757.7	3672	580	1160
秦皇岛	海港区	76.5	126	20	40	186
	山海关区	17.9	34	5	11	50
	北戴河区	8.6	16	3	5	24
	其他区县	195.8	356	56	113	525
		合计	298.8	532	84	168
邯郸	邯山区	38.6	242	38	76	356
	丛台区	36.4	206	33	65	304
	其他区县	842.5	4832	764	1526	7122

	合计	917.5	5280	835	1667	7782
保定	新市区	46.3	308	49	97	454
	北市区	38.7	295	47	93	435
	南市区	28.8	206	33	65	304
	其他区县	1005.6	7194	1140	2268	10602
	合计	1119.4	8004	1269	2523	11796
张家口	桥东区	33.9	3	0	1	4
	桥西区	28.8	12	2	4	18
	其他区县	371.8	45	7	14	66
	合计	434.5	60	9	19	88
承德	双桥区	42.5	46	7	15	68
	双滦区	14.7	18	3	6	27
	其他区县	290.1	317	50	101	468
	合计	347.3	381	60	121	562
廊坊	安次区	36.8	194	31	61	286
	广阳区	50.0	267	42	84	393
	其他区县	349.1	1874	296	592	2762
	合计	435.9	2336	369	737	3442
沧州	新华区	22.8	89	14	28	131
	运河区	30.8	108	17	34	159
	其他区县	659.7	2386	376	755	3517
	合计	713.4	2584	408	817	3809
衡水	桃城区	52.2	328	52	104	484
	其他区县	381.9	2400	380	757	3537
	合计	434.1	2728	432	861	4021
邢台	桥东区	27.0	178	28	56	262
	桥西区	40.1	266	42	84	392
	其他区县	643.4	4235	671	1336	6242
	合计	710.4	4679	741	1476	6896

计算 2015 年天津、河北各市因 $PM_{2.5}$ 污染导致的慢性阻塞性肺炎（COPD）发病和哮喘急诊人次。在年时间尺度下，将天津、河北各城市行政区的 $PM_{2.5}$ 年平均浓度数据、COPD 基期发病率数据、和各行政人口带入“剂量-反应”模型，计算得到天津、河北各城市行政区因 $PM_{2.5}$ 浓度超标所致的 COPD 患病人数；而在日时间尺度下，将天津、河北各城市行政区的 $PM_{2.5}$ 日平均浓度数据、哮喘急诊率数据、和各行政人口带入“剂量-反应”模型，计算得到 2015 年天津、河北各城市行政区因 $PM_{2.5}$ 浓度超标所致的哮喘急诊人数如表 37 所示：

表 37 2015 年天津、河北各城市行政区 PM_{2.5} 浓度超标所致慢性病患病情况

城市	行政区	人口（万人）	慢性支气管炎患 病人数	哮喘患病人数
天津	和平区	27.3	794	381
	河东区	86.1	2359	1163
	河西区	87.1	2544	1244
	南开区	101.8	2585	582
	河北区	78.8	2318	1145
	红桥区	53.2	1468	716
	东丽区	57.0	1565	761
	北辰区	66.9	2075	1013
	滨海新区	248.2	6939	3442
	静海县	64.7	2210	1069
	其他区县	422.7	11883	6150
	合计	1293.8	36740	17667
石家庄	长安区	48.0	1795	931
	桥西区	59.6	2162	1113
	新华区	62.5	2601	1397
	裕华区	62.9	2426	1275
	其他区县	783.4	30128	15829
	合计	1016.4	39113	20544
唐山	路北区	74.4	2557	1329
	路南区	31.1	1004	515
	其他区县	652.3	21939	11351
	合计	757.7	25500	13195
秦皇岛	海港区	76.5	1029	472
	山海关区	17.9	279	128
	北戴河区	8.6	136	61
	其他区县	195.8	2731	1332
	合计	298.8	4176	1993
邯郸	邯山区	38.6	1563	850
	丛台区	36.4	1375	729
	其他区县	842.5	32140	17117
	合计	917.5	35078	18696
保定	新市区	46.3	1972	1062
	北市区	38.7	1803	1003
	南市区	28.8	1286	707
	其他区县	1005.6	44913	24636

	合计	1119.4	49975	27408
张家口	桥东区	33.9	23	10
	桥西区	28.8	109	48
	其他区县	371.8	393	172
	合计	434.5	525	231
承德	双桥区	42.5	385	174
	双滦区	14.7	151	68
	其他区县	290.1	2665	1206
	合计	347.3	3201	1448
廊坊	安次区	36.8	1347	682
	广阳区	50.0	1829	941
	其他区县	349.1	12812	6591
	合计	435.9	15988	8214
沧州	新华区	22.8	654	325
	运河区	30.8	804	395
	其他区县	659.7	17675	8714
	合计	713.4	19133	9434
衡水	桃城区	52.2	2130	1149
	其他区县	381.9	15579	8401
	合计	434.1	17709	9550
邢台	桥东区	27.0	1140	616
	桥西区	40.1	1703	921
	其他区县	643.4	27202	14698
	合计	710.4	30045	16235

以 NAAQS 达标情景下的 PM_{2.5} 浓度值作为评估基准,将 PM_{2.5} 浓度值、人口、基期死亡率, 带入“剂量-反应”关系模型, 得到北京市 PM_{2.5} 浓度超标所致居民死亡人数如表 38 所示:

表 38 以美国 NAAQS 标准为基准的 2014 年北京市 PM_{2.5} 超标所致居民死亡人数

	人口 (万人)	心脑血管疾病死亡人数	呼吸系统疾病死亡人数	肺癌死亡人口
东城	91.1	1962	176	340
西城	130.2	2761	245	480
朝阳	392.2	8360	744	1452
海淀	367.8	7568	658	1317
丰台	230	5088	466	881
石景山	65	1358	119	236
昌平	190.8	3653	304	639

大兴	154.5	3535	333	610
房山	103.6	2451	239	422
怀柔	38.1	740	62	129
门头沟	30.6	593	50	104
密云	47.8	867	70	152
平谷	42.3	808	67	141
顺义	100.4	2049	177	357
通州	135.6	3167	305	546
延庆	31.6	579	47	102
合计	2151.6	45540	4063	7908

表 39 以美国 NAAQS 标准为基准的 2015 年北京市 PM2.5 超标所致居民死亡人数

	人口 (万人)	心脑血管疾病死亡人数	呼吸系统疾病死亡人数	肺癌死亡人口
东城	91.1	1925	186	344
西城	130.2	2692	256	482
朝阳	392.2	8243	794	1473
海淀	367.8	7216	666	1296
丰台	230	4934	482	881
石景山	65	1343	128	240
昌平	190.8	3423	302	618
大兴	154.5	3470	352	617
房山	103.6	2387	247	423
怀柔	38.1	707	63	127
门头沟	30.6	560	50	101
密云	47.8	797	68	144
平谷	42.3	825	76	148
顺义	100.4	2031	191	364
通州	135.6	3037	307	540
延庆	31.6	507	43	92
合计	2151.6	44094	4210	7890

同时，以美国 NAAQS 达标情景下的 PM2.5 浓度值作为评估基准，计算 PM2.5 浓度超标所致住院人数、COPD 患病人数以及哮喘急诊人数，结果如表所示：

表 40 以美国 NAAQS 标准为基准的 2014 年北京市 PM2.5 超标所致居民住院和患病人数

行政区	心脑血管住院(人)	呼吸系统住院(人)	COPD 患病人数(人)	哮喘急诊人数(人)
东城	2898	742	4150	2315
西城	4021	1031	5822	3228
朝阳	12221	3132	17649	9787
海淀	10709	2748	15868	8631
丰台	7717	1974	10825	6114

石景山	1954	502	2856	1577
昌平	4872	1252	7569	3960
大兴	5560	1419	7579	4355
房山	4026	1025	5301	3114
怀柔	1002	258	1537	818
门头沟	802	206	1232	654
密云	1119	288	1783	920
平谷	1086	280	1673	894
顺义	2889	742	4291	2341
通州	5118	1304	6825	3985
延庆	697	180	1192	577
合计	66690	17084	96151	53270

表 41 以美国 NAAQS 标准为基准的 2015 年北京市 PM2.5 超标所致居民住院和患病人数

行政区	心脑血管住院	呼吸系统住院	COPD 患病人数	哮喘急诊人数
东城	2758	706	4082	2191
西城	3788	970	5686	3028
朝阳	11743	3004	17467	9323
海淀	9770	2510	15110	7919
丰台	7163	1831	10497	5664
石景山	1889	484	2838	1510
昌平	4369	1126	7075	3592
大兴	5256	1339	7455	4090
房山	3726	948	5159	2877
怀柔	922	237	1467	756
门头沟	724	186	1159	595
密云	977	252	1631	812
平谷	1114	287	1725	908
顺义	2814	722	4274	2264
通州	4614	1177	6522	3612
延庆	613	159	1034	515
合计	62239	15937	93182	49656

6.4 PM2.5 浓度超标所致人群健康损失

2014 年，北京市人均收入为 37323 元。将北京市收入参数带入本研究“工资-风险”法 meta 分析所得模型中，计算结果作为对北京个体生命价值的估计为 549.1 万元。将该值带入 PM2.5 污染所致人口死亡数，得到对 PM2.5 污染所致人群死亡损失的货币化评估结果为 2720 亿元。同年，参照《中国卫生统计年鉴》给出的心血

管疾病、呼吸系统疾病住院费用及住院时间的相关数据。同时参考北京大学环境与经济研究所发布的不同类型疾病医疗费用数据，计算得到住院费用 11.7 亿元，性阻碍性肺病（COPD）医疗费用 503 亿元，哮喘急诊费用 0.9 亿元。加总生命价值的损失及各项医疗费用，2014 年北京市因 PM2.5 超标所致健康损失合计 3236 亿元，约占北京市当年 GDP 的 15.2%。

2015 年，北京市人均收入为 40644 元。将北京市收入参数带入本研究“工资-风险”法 meta 分析所得模型中，计算结果作为对北京个体生命价值的估计为 589.3 万元。将该值带入 PM2.5 污染所致人口死亡数，得到对 PM2.5 污染所致人群死亡损失的货币化评估结果为 2876 亿元。同年，参照《中国卫生统计年鉴》给出的心脑血管疾病、呼吸系统疾病住院费用及住院时间的相关数据。同时参考北京大学环境与经济研究所发布的不同类型疾病医疗费用数据，计算得到住院费用 11.2 亿元，慢性阻碍性肺病（COPD）医疗费用 492 亿元，哮喘急诊费用 0.9 亿元。加总生命价值的损失及各项医疗费用，2014 年北京市因 PM2.5 超标所致健康损失合计 3380 亿元，约占北京市当年 GDP 的 14.7%。

2015 年，天津、河北各城市人均收入来自统计年鉴。将天津、河北各市居民人家收入带入本研究“工资-风险”法模型，计算结果作为对天津、河北居民生命价值的估计值。住院成本参照《中国卫生统计年鉴》给出的心脑血管疾病、呼吸系统疾病住院费用及住院时间相关数据。同时参考北京大学环境与经济研究所于 2010 年发布的不同类型疾病医疗费用数据（黄德生，2013），计算得到住院费用、慢性阻碍性肺病（COPD）医疗费用和哮喘急诊费用数据。将医疗成本数据按照各年的 CPI 指数，换算成为 2015 年价。天津、河北各城市生命价值参数、住院费用、慢性阻塞性肺病医疗费用、哮喘费用等如表 42 所示：

表 42 天津、河北各城市生命价值和医疗成本参数（2015 年价）

	生命价值（万 元/人）	住院费用（元/ 人次）	COPD 治疗费用（元/人次）	哮喘急诊费用（元 /人次）
天津	456.8	12274	43	1473
石家庄	301.6	6961	34.8	1063
唐山	341.4	5157	37.8	1114
秦皇岛	275.9	4128	32.5	953
邯郸	261.1	2182	33.5	959
保定	232.9	3917	28.5	1275
张家口	223.3	5772	27.8	954
承德	210.9	7381	27.9	1191
廊坊	332.9	6458	37.2	1296

沧州	254.4	3740	30.5	974
衡水	207.2	3582	27.6	1042
邢台	211.9	2527	28.0	945

2015年，天津、河北各城市因PM_{2.5}浓度达标可实现的人群健康收益如表43所示：

表 43 2015年天津、河北各城市PM_{2.5}达标可实现的健康收益（亿元）

	常住人口 (万人)	生命价 值	住院费用	COPD治 疗费用	哮喘急诊 费用	合计
天津	1293.8	1328.61	3.21	157.98	0.26	1490.06
石家庄	1016.4	678.5	136.2	1.4	2.20	818.3
唐山	757.7	507.8	96.4	0.7	1.02	606.0
秦皇岛	298.8	70.6	13.6	0.1	0.12	84.4
邯郸	917.5	527.2	117.3	0.4	0.62	645.5
保定	1119.4	656.5	142.5	1.1	1.70	801.7
张家口	434.5	7.4	1.5	0.0	0.02	8.9
承德	347.3	41.8	8.9	0.1	0.15	51.0
廊坊	435.9	307.7	59.5	0.5	0.81	368.6
沧州	713.4	289.3	58.3	0.4	0.52	348.4
衡水	434.1	209.6	48.9	0.3	0.53	259.3
邢台	710.4	361.8	84.3	0.4	0.64	447.1

比较京津冀各城市因PM_{2.5}超标所致健康损害。比较的指标包括健康损害总量、人均健康损害以及健康损害占GDP的比重。

首先，比较京津冀各城市因PM_{2.5}超标所致健康损害总量。比较结果如图4-9所示。其中，北京、天津因PM_{2.5}超标所致健康损害总量最高，其次为石家庄、保定等城市，秦皇岛、承德和张家口因PM_{2.5}超标所致健康损害总量最小。

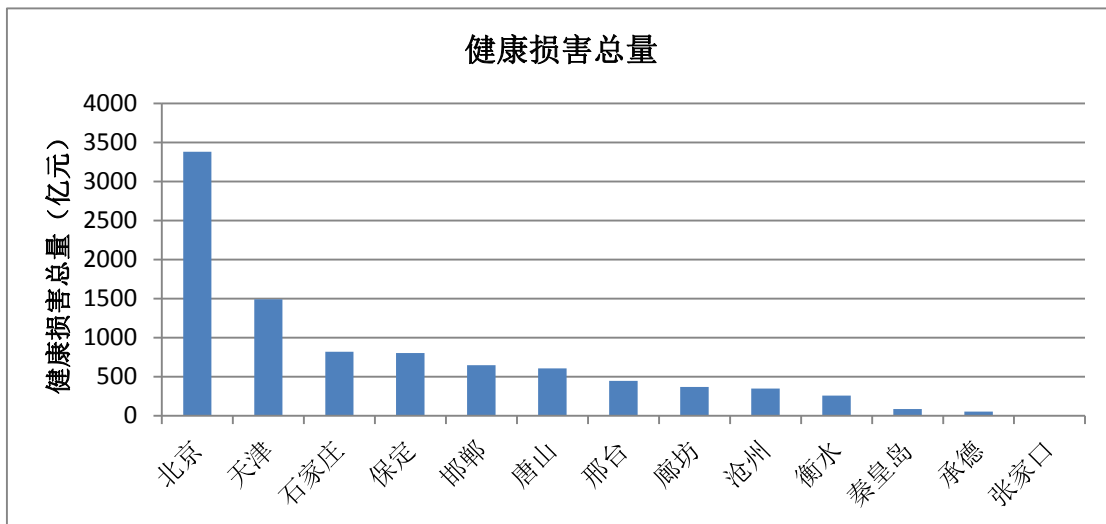


图 5 2015 年京津冀城市 PM_{2.5} 浓度超标所致健康损失

其次，比较京津冀各城市因 PM_{2.5} 超标所致人均健康损害。比较结果如图 4-10 所示。其中，北京、天津因 PM_{2.5} 超标所致人均健康损失最高，廊坊、石家庄、唐山次之，秦皇岛、承德和张家口因 PM_{2.5} 超标所致人均健康损失最少。

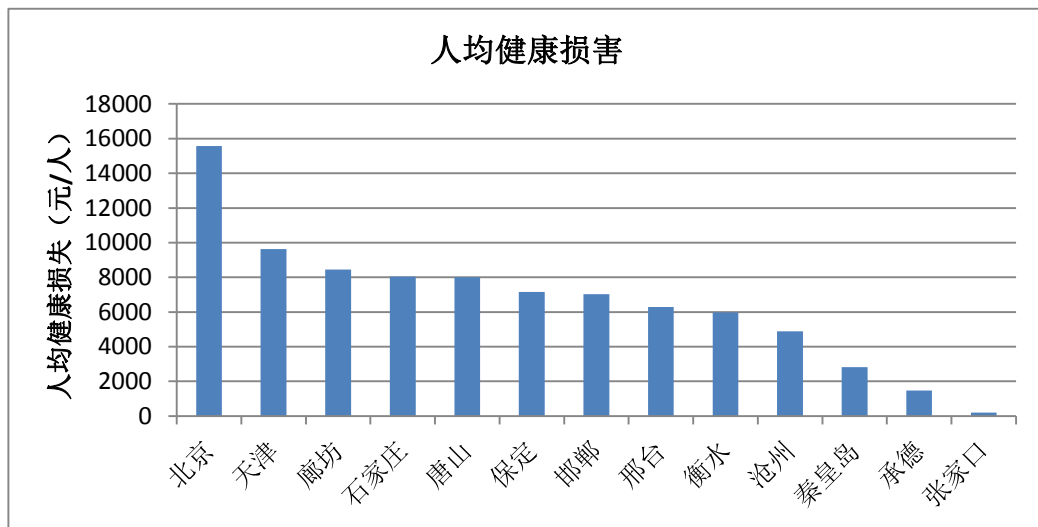


图 6 2015 年京津冀城市 PM_{2.5} 浓度超标所致人均健康损失

再次，比较京津冀城市因 PM_{2.5} 超标所致健康损失占 GDP 的比重。比较结果如图 4-11 所示。根据该指标，保定、邢台等地 PM_{2.5} 对经济造成的影响甚至超过了北京、天津等地。

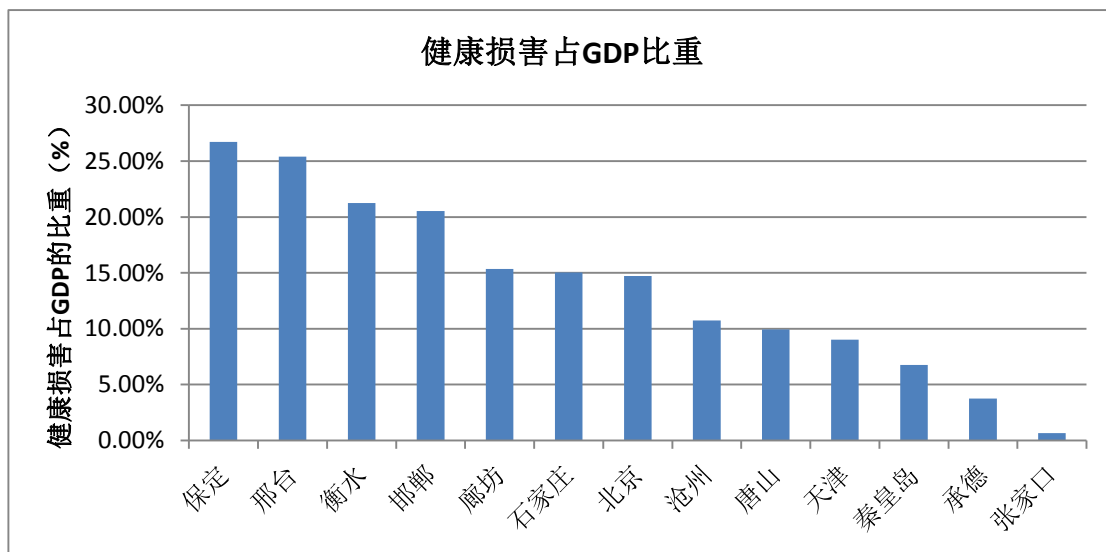


图 7 2015 年京津冀城市 PM_{2.5} 浓度超标所致健康损失占 GDP 的比重

可以看到，由于人口规模更加庞大，以及居民对生命价值的支付意愿更高，北京和天津无论从总量上看，还是从人均上看，都是污染损失最严重的地区。而从健

康损害占 GDP 的比重上看，保定、邢台等地空气污染所造成的相对经济影响则需要当地政府部门予以较高关注。

6.5 急性健康损害评估

在日时间尺度上计算 PM2.5 超标急性健康损害，目的是满足空气日管理的需要。通过在日时间尺度上比较 PM2.5 超标所致健康损失和治理成本，判断空气日管理行动方案的经济可行性。

风力等级在 1 以下的，视为无风。据统计，2014 年至 2015 年间，北京市无风样本共计 114 天。其中，无风日多分布在 1-3 月和 7-12 月间，平均浓度为 165 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。计算无风日的急性健康损害，可作为空气质量日管理的依据。其中，每年 11 月至 12 月间，PM2.5 浓度最高。2015 年 12 月 1 日，PM2.5 浓度达到 435 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，为全年最高值。当日，PM2.5 所造成的急性健康损害，可包括：①急性致死风险；②日住院率上升；③哮喘急诊率上升；④单日积累的慢性致死风险；⑤单日积累的 COPD 发病率上升。

由此，计算出 2015 年 12 月 1 日所致健康风险，急性致死人数加单日积累的慢性致死人数达 708 人，心脑血管疾病日住院人数上升 721 人，呼吸系统疾病日住院人数上升 186 人，哮喘急诊人数上升 591 人，单日积累的 COPD 发病人数上升 1155 人。

风向为西南风的，视为受河北省空气污染影响较重的时期。2014 年至 2015 年，风向为西南风的样本共计 209 天，平均浓度为 72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，略小于 2014-2015 年北京市 PM2.5 浓度均值。计算出西南风向时期北京市 PM2.5 超标所致健康影响：

表 28 风向为西南风向时期北京市 PM2.5 超标所致健康损害

行政区	人口(万人)	心脑血管疾病死亡人数	呼吸系统疾病死亡人数	肺癌死亡人数	慢性支气管炎患病人数	哮喘患病人次	慢性支气管炎患病人数	哮喘患病人次
东城	91.9	803	72	145	1689	889	1669	859
西城	131.4	1046	92	188	2225	1166	2165	1107
朝阳	395.7	3474	312	626	7221	3781	7217	3703
海淀	371	3153	269	571	6891	3542	6458	3242
丰台	232	2043	186	368	4432	2368	4262	2208
石景山	65.6	560	50	101	1136	590	1160	594
昌平	192.5	1447	118	264	3271	1626	2922	1424
大兴	155.9	1502	142	269	3191	1729	3167	1670

房山	104.5	991	96	177	2162	1198	2102	1123
怀柔	38.4	300	25	54	651	328	609	300
门头沟	30.9	228	19	42	514	258	462	227
密云	48.2	316	25	58	742	364	632	301
平谷	42.7	360	30	65	685	344	736	370
顺义	101.3	896	78	162	1827	939	1845	938
通州	136.8	1413	133	253	3152	1738	2975	1579
延庆	31.9	162	13	30	423	208	322	152
合计	2170.6	18694	1659	3372	40213	21065	38701	19797

无风日，PM_{2.5} 急性健康损害高于其他日期。2015 年 12 月 1 日，PM_{2.5} 浓度达到 435 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，为全年最高值。当日，PM_{2.5} 所造成的急性健康损失为 50.5 亿元，其中，生命健康损失为 41.7 亿元，住院成本为 0.16 亿元，哮喘急诊费用为 0.013 亿元，COPD 医疗费用为 7.1 亿元。

风向为西南风的，2014 年至 2015 年共有 209 天，PM_{2.5} 浓度值略小于其他时期。其间，PM_{2.5} 造成的健康损害为 1582 亿元，其中，生命健康损失为 1338 亿元，住院成本为 5.4 亿元，哮喘急诊费用为 0.43 亿元，COPD 医疗费用为 238.6 亿元。

7 总结和讨论

(1) 京津冀城市空气 PM_{2.5} 污染健康损失

表 29 2015 年京津冀城市 PM_{2.5} 浓度超标所致健康损失

城市	人口 (万人)	心脑血管			呼吸系统		慢性支气管炎患病人数	哮喘患病人数	货币化健康损失 (亿元)
		疾病死亡人数	疾病死亡人数	肺癌死亡人数	疾病住院人数	疾病住院人数			
北京	2170.6	38423	3416	6930	49650	12783	79579	40735	3380
天津	1293.8	24607	1331	3145	18947	7186	36740	17667	1490.06
石家庄	1016.4	19662	760	2072	22916	8627	39113	20544	818.3
唐山	757.7	13017	477	1380	14297	5412	25500	13195	606
秦皇岛	298.8	2247	69	243	2053	784	4176	1993	84.4
邯郸	917.5	17649	680	1860	20628	7782	35078	18696	645.5
保定	1119.4	24595	1025	2571	31519	11796	49975	27408	801.7
张家口	434.5	291	8	32	229	88	525	231	8.9
承德	347.3	1742	52	189	1465	562	3201	1448	51
廊坊	435.9	8085	306	854	9141	3442	15988	8214	368.6
沧州	713.4	9962	341	1065	10023	3809	19133	9434	348.4
衡水	434.1	8835	351	928	10688	4021	17709	9550	259.3
邢台	710.4	14912	603	1564	18370	6896	30045	16235	447.1

(2) 货币化 PM2.5 健康损失才是空气污染程度的最终表达

PM2.5 浓度是空气质量管理的过程指标，将 PM2.5 浓度值与标准比较，反映的是 PM2.5 超标情况。PM2.5 健康损害是空气质量管理的核心和综合指标，反映了特定地区受 PM2.5 影响的严重程度，与该地区暴露人口、经济发展水平有关。货币化的 PM2.5 健康损害，可与环境管理成本相比较，因此更具决策参考意义。

(3) 方法的可靠性和不确定性

本报告借鉴了美国 EPA 空气污染健康损害评估框架，在评估指标、空间尺度、时间尺度、评估基准、年龄划分和健康终点等多个环节上的考虑更加完整，提高了评估的精度，达到了应用的水平。

对关键参数的选择，以 meta 分析方法为主要研究方法，收集和整理国内已有环境流行病学研究成果，以及工资-风险法和条件价值法文献资料，提出合适的合并效应量，参数的可靠性通过了 meta 异质性检验和发表偏倚检验。

不确定性包括以下两方面：

一是在国内队列研究缺乏的情况下，所使用“剂量-反应”关系参数主要借用美国 BenMAP 软件收录的参数，这些参数来自于美国流行病学研究。异质性研究结果表明，不同城市因温度、湿度、收入、年龄结构、PM2.5 浓度背景值不同，其“-反应”关系参数会有不同。美国城市 PM2.5 浓度背景值远低于国内城市，气候条件有较大差异，居民饮食结构、生活习惯、收入水平、身体素质等方面都有很大不同。因此，将美国“-反应”关系参数直接用于国内空气污染健康损害评估，结果存在一定程度上的不确定性。也是在国内缺乏合适的计量反应关系的权宜之计。京津冀城市 PM2.5 远高于美国的城市，因此，本报告估计的健康损害应当是保守的。

二是本研究基于“工资-风险”法估计生命价值。但仍有学者认为，我国目前可能并不具备应用“工资-风险”法这类隐含价格法的市场条件。在不成熟的市场条件下，基于该方法对生命价值的估计，将无法最真实反映居民关于生命价值的支付意愿。

(4) 数据支持及对空气污染损失评估可行性

目前，我国已初步具备开展 PM2.5 健康损害评估所需数据支持。

一是空气质量数据已经公开。所有地级城市的国控监测点关于 PM2.5 的连续监测数据可通过国家环境质量信息平台获取。

二是发病、死亡数据部分城市已经公开。北京、天津及石家庄等城市公布了较为详细的疾病发病、死亡率数据，以及医疗成本数据等。

三是人口、经济发展等基础数据资料已经公开。通过各城市统计年鉴可以查询

到人口、居民收入数据等。

(5) 数据的使用及其价值

PM2.5 健康损害评估是空气污染防治成本效益分析的组成部分，反映了空气污染所造成的经济损失，也从另一方面反映了空气治理可实现的经济收益。充分利用 PM2.5 健康损害评估结果，可为政策的制定提供关键的决策依据。

首先，空气质量标准的制定需要进行货币化的成本效益分析。当最新研究成果表明，空气污染物浓度在超过特定值的情况下，会对人体健康造成较大威胁的时候，即可发起对空气污染物浓度标准的修订。为论证空气质量标准的合理性，将修订后空气质量标准情景下人群健康效应，同原有空气质量标准情景下人群健康效应进行比较，量化由此实现的健康收益，并同空气质量标准修订后社会新增成本进行比较，可作为判断空气质量标准修订是否经济可行的依据。

其次，空气污染物排放标准的制定需要进行货币化的成本效益分析。制定空气污染物排放标准，最终目的是使得空气质量达标。对于空气质量未达标地区的污染源，将执行更加严格的空气污染物排放标准，以满足其空气质量达标的要求。但需要考虑污染源的承受能力；基于技术的排放标准是基于行业技术进步的基础上制定的，即考虑行业发展的前提下制定的。以上两者中，如何考虑技术进步、考虑污染源的承受能力，都要开展成本效益分析或社会经济影响分析。

再次，空气质量达标规划的编制需要进行货币化的成本效益分析。对于空气质量未达标地区，编制空气质量达标规划的目的是要实现空气质量尽快达标。空气质量达标规划的内容，包括空气质量达标规划目标的确定、行动方案筛选和规划的社会经济影响分析，都要涉及空气污染的健康损害评估。

(6) 评估结果对社会的影响

PM2.5 健康损害是用货币化表达的，更多反映了居民改善环境质量的支付意愿，并非真正意义上的经济损失。计算 PM2.5 健康损害的目的，主要是为环境管理决策服务。因其不是真实的市场价值，故不能作为经济运行情况的依据。

(7) 政策建议

要促使“暴露-反应”关系参数和生命价值参数的研究成果能够最终被应用于我国环境管理，需要有相应的制度保障和配套的技术规范、数据库、软件工具等。结合本文研究，提出政策建议如下：

首先，需在法律中明确规定成本效益分析相关内容。《环境保护法》应明确提出环境质量标准、排放标准、环境规划的制定和修订过程需开展社会经济影响评估，由环保行政主管部门编写成本效益分析报告，并向社会公示。《大气污染防治法》

应有具体的针对空气管理成本效益分析的规定。

其次，出台一系列关于成本效益分析的导则、技术和规范。在导则中，明确说明“暴露-反应”关系参数、生命价值参数取值的依据、方法、适用范围、合理性等。

再次，开发空气污染健康损害评估数据库并定期更新。“暴露-反应”关系参数、生命价值参数的更新将结合最新流行病学、生命价值研究成果，监测点浓度、发病率、死亡率、住院率、急诊率、人均收入、年龄结构、暴露人口、医疗成本等参数也将根据最新统计数据进行更新。

最后，健康损害评估仅是成本效益分析的组成部分，为满足环境管理决策的要求，政府还需推污染控制成本方面的研究，尤其是基础数据的收集工作。

（全文完）