

《大气污染防治行动计划》实施环境效果模拟

薛文博,王金南*,杨金田,雷宇,付飞,宁淼

(环境保护部环境规划院,北京 100012)

摘要 本研究利用2010年污染源普查数据和MEIC排放清单建立全国大气污染物高时空分辨率排放清单,在此基础上利用2012年环境统计数据对其进行修订建立2012年全国大气污染物高时空分辨率排放清单;结合《大气污染防治行动计划》(以下简称《计划》)研究工作,测算了《计划》实施后在污染源综合治理、落后产能淘汰、能源结构调整方面对SO₂、NO_x、颗粒物、VOCs的减排量,同时对污染物新增量进行了预测,建立了《计划》实施后全国大气污染物高时空分辨率排放清单;利用CMAQ空气质量模型模拟分析了《计划》实施的空气质量改善效果。结果表明:《计划》实施后,将可以减少641万吨SO₂、859万吨NO_x、547万吨颗粒物(不含扬尘污染控制)、627万吨VOCs,全国、京津冀、长三角及珠三角区域PM_{2.5}年均浓度将分别比2012年下降22.08%、33.99%、23.98%、24.04%。如果《计划》要求全部落实,可以实现空气质量改善目标。

关键词 《大气污染防治行动计划》;大气污染;PM_{2.5};CMAQ

中图分类号: X51

文献标识码: A

文章编号: 1674-6252(2015)02-0025-06

Environmental Effect Simulation of Air Pollution Prevention and Control Action Plan

Xue Wenbo, Wang Jinnan*, Yang Jintian, Lei Yu, Fu Fei, Ning Miao

(Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing 100012)

Abstract: This study established the national high spatial and temporal resolution emission inventory based on the national pollution source census data of 2010 and the 2012 Multi-resolution emission inventory for China, and revised the emission inventory with the environmental statistic data of 2012. Combined with the research of the Air Pollution Prevention and Control Action Plan, the emission reduction of SO₂, NO_x, PM, VOCs by controlling pollution source, eliminating backward productivity and adjusting energy structure were calculated while the future increment of pollutants emission were predicted, then the national high spatial and temporal resolution emission inventory was established according to the reduction. Environmental effect simulation was conducted by applying the CAMQ air quality model, the results indicated that if the action plan was implement completely the emission reduction of SO₂, NO_x, PM, VOCs is 641 × 10⁴t, 859 × 10⁴t, 547 × 10⁴t, 627 × 10⁴t, the annual average PM_{2.5} concentration of China, Beijing-Tianjin-Hebeiregion, Yangtze River Delta, Pearl River Delta will decline 22.08%, 33.99%, 23.98%, 24.04% respectively as compared to 2012, the goal of air quality improvement can be acquired.

Keywords: Air Pollution Prevention and Control Action Plan; Air Pollution; PM_{2.5}; CMAQ

前言

随着我国经济快速发展和城市化的快速推进,特别是以重化工为特征的产业发展模式、煤炭为主的能

源结构以及快速的机动车增长,我国主要污染物排放量均已升居世界第一,结果造成了严重的空气污染和公众健康威胁。中国大气污染呈现出多污染源多污染物叠加、城市与区域污染复合、污染与气候变化交叉等显著特征,其治理难度远大于发达国家,是一项长期艰巨的任务^[1-2]。尤其是2013年1月的灰霾污染,其持续时间之长,覆盖范围之广,污染程度之高,影

作者简介:薛文博,(1981—),男,陕西宝鸡,农工党员,副研究员,环境保护部环境规划院大气部环境模拟与评估研究室主任,主要从事大气环境容量、空气质量模型、污染源排放清单、环境卫星遥感及大气污染控制对策等领域的科研与实践工作。*王金南为通讯作者。

响人群之多,在全球均属罕见,引起了国内外的高度关注^[3-4]。为了改善空气质量和保护公众健康,新一届政府采取了史上最严格的大气污染治理措施,于2013年9月12日正式发布了第一个国家《大气污染防治行动计划(2013—2017)》^[5-6],要求到2017年,全国地级及以上城市PM₁₀浓度比2012年下降10%以上,京津冀、长三角、珠三角等区域2017年PM_{2.5}浓度分别比2012年下降25%、20%、15%以上,其中北京市PM_{2.5}年均浓度控制在60 μg/m³。本研究结合《大气污染防治行动计划》研究工作,模拟分析了《计划》实施的污染减排潜力、基于减排的空气质量改善效果。

1 数据与方法

首先基于2010年全国污染源普查数据^[7-8],结合清华大学MEIC排放清单^[9],建立了覆盖全国、涵盖SO₂、NO_x、PM、VOCs及NH₃等多种污染物的高时空分辨率排放清单,并在全国多污染物高时空分辨率排放清单基础之上,结合WRF-CMAQ空气质量模型^[10-11],建立了国家“大气污染减排”与“空气质量改善”响应模拟平台。其次基于2012年环境统计数据对2010年排放清单进行更新,建立2012年排放源清单,2017年排放清单依据大气污染防治行动计划SO₂、NO_x、烟粉尘和VOCs减排潜力测算。最后利用国家“大气污染减排”与“空气质量改善”响应模拟平台分别模拟了2012年及和2017年全国、各省份及各城市的PM_{2.5}污染状况,分析了《计划》实施后全国、重点区域及各省份PM_{2.5}年均浓度相比2012年的下降幅度。

1.1 污染减排潜力测算

1.1.1 削减量分析

《计划》实施后,预计到2017年通过工业企业综合治理将减排315万吨SO₂、437万吨NO_x、247万吨颗粒物、460万吨VOCs,移动源污染治理将减排303万吨NO_x、38万吨颗粒物、167万吨VOCs,以上综合治理措施将累计实现减排315万吨SO₂、740万吨NO_x、285万吨颗粒物、627万吨VOCs;通过淘汰落后产能,全国电力、钢铁、水泥、焦炭、电解铝等重点行业将累计减排138万吨SO₂、71万吨NO_x、127万吨颗粒物;通过调整能源结构,使用清洁能源(天然气)替代燃煤将减排99万吨SO₂、43万吨NO_x、35万吨颗粒物,煤炭清洁利用将减排41万吨SO₂、

62万吨颗粒物,实行集中供热将减排48万吨SO₂、15万吨NO_x、38万吨颗粒物,能源结构调整措施累计实现减排188万吨SO₂、58万吨NO_x、135万吨颗粒物。综上所述,《计划》中多污染源综合治理、落后产能淘汰与能源结构调整等主要措施合计将产生SO₂减排量641万吨、NO_x减排量859万吨、颗粒物减排量547万吨(不含扬尘污染控制)、VOCs减排量627万吨^[6,12]。

1.1.2 新增量预测

预计2013—2015年,全国GDP仍将保持7.5%的年均增长速率,燃煤消耗总量将在2012年的基础上增加7亿吨,汽车保有量增加1亿辆,煤电装机容量增加2.5亿千瓦,原油加工能力增加2亿吨,水泥熟料增加1亿吨。在此情景下,到2017年年底全国将新增SO₂排放量253万吨、NO_x排放量247万吨、颗粒物排放量175万吨、VOCs排放量413万吨^[6,12]。

1.1.3 净削减潜力分析

综合减排量与新增量预测两个方面的结果,预计2017年SO₂、NO_x、烟粉尘和VOCs排放量分别为1730万吨、1727万吨、906万吨、2486万吨,分别比2012年下降18.3%、26.6%、29.1%和7.9%^[6,12]。

1.2 空气质量模拟方法

1.2.1 空气质量模型系统

本研究采用的国家“大气污染减排”与“空气质量改善”响应模拟平台主要由空气质量模型CMAQ和中尺度气象模型WRF组成。CMAQ模型主要由边界条件模块(BCON)、初始条件模块(ICON)、光分解速率模块(JPROC)、气象—化学预处理模块(MCIP)和化学输送模块(CCTM)构成。化学输送模块(CCTM)是CMAQ的核心,污染物在大气中的扩散和输送过程、气象化学过程、气溶胶化学过程、液相化学过程、云化学过程以及动力学过程均由CCTM完成,其他模块的主要功能是为CCTM提供输入数据和相关参数。CCTM模块可输出多种气态污染物和气溶胶组分的逐时浓度以及逐时的能见度和干湿沉降。CMAQ模型所需气象数据由WRF模型模拟,WRF模型输出结果经气象—化学预处理模块(MCIP)处理后作为CMAQ模式的输入气象场。

1.1.CMAQ模型参数

模拟时段:模拟时段为2012年1月和2012年7

月两个典型月，输出结果时间间隔为 1 小时，用两个典型月模拟结果的平均值代表全年模拟结果。

模拟范围：CMAQ 模拟区域采用 Lambert 投影坐标系，中心经度 103°，中心纬度 37°，两条标准平行纬度为 25° 和 40°。水平模拟范围为 X 方向（-2682 ~2682 km）、Y 方向（-2142 ~2142 km），网格间距 36km，共将模拟区域划分为 150×120 个网格，研究范围为中国全部陆域范围。模拟区域垂直方向共设置 9 个气压层，层间距自下而上逐渐增大。

化学机制：模型采用 CMAQ 4.7.1 版本，化学机

制为 CB05 气相化学反应机制和 AERO5 气溶胶反应机制。

2.WRF 气象模型参数

模拟时段：WRF 模拟时段与 CMAQ 模型相同，为 2012 年 1 月和 7 月两个典型月。

模拟范围：WRF 模型与 CMAQ 模型采用相同的空间投影坐标系，但模拟范围大于 CMAQ 模拟范围，其水平模拟范围为 X 方向（-3582 km~3582 km）、Y 方向（-2502 km~2502 km），网格间距 36km，共将研究区域划分为 200×140 个网格。垂直方向共设置

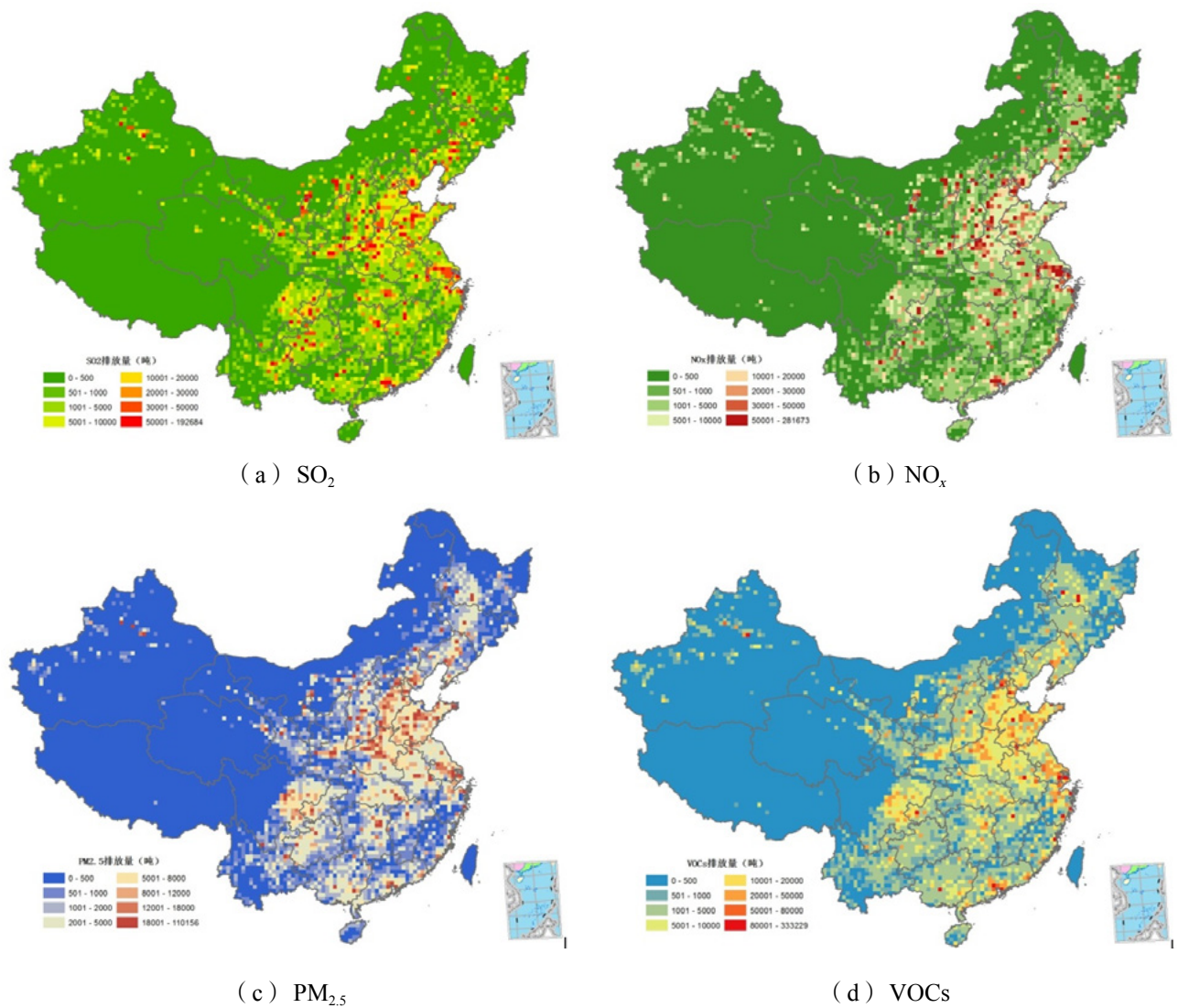


图1 全国 36 公里分辨率主要大气污染物排放清单

表 1 大气污染物排放清单数据来源

污染物	SO ₂	NO _x	VOC _s	PM _{2.5}	NH ₃	其他
来源	污染源普查	污染源普查	MEIC	MEIC	REAS	MEIC

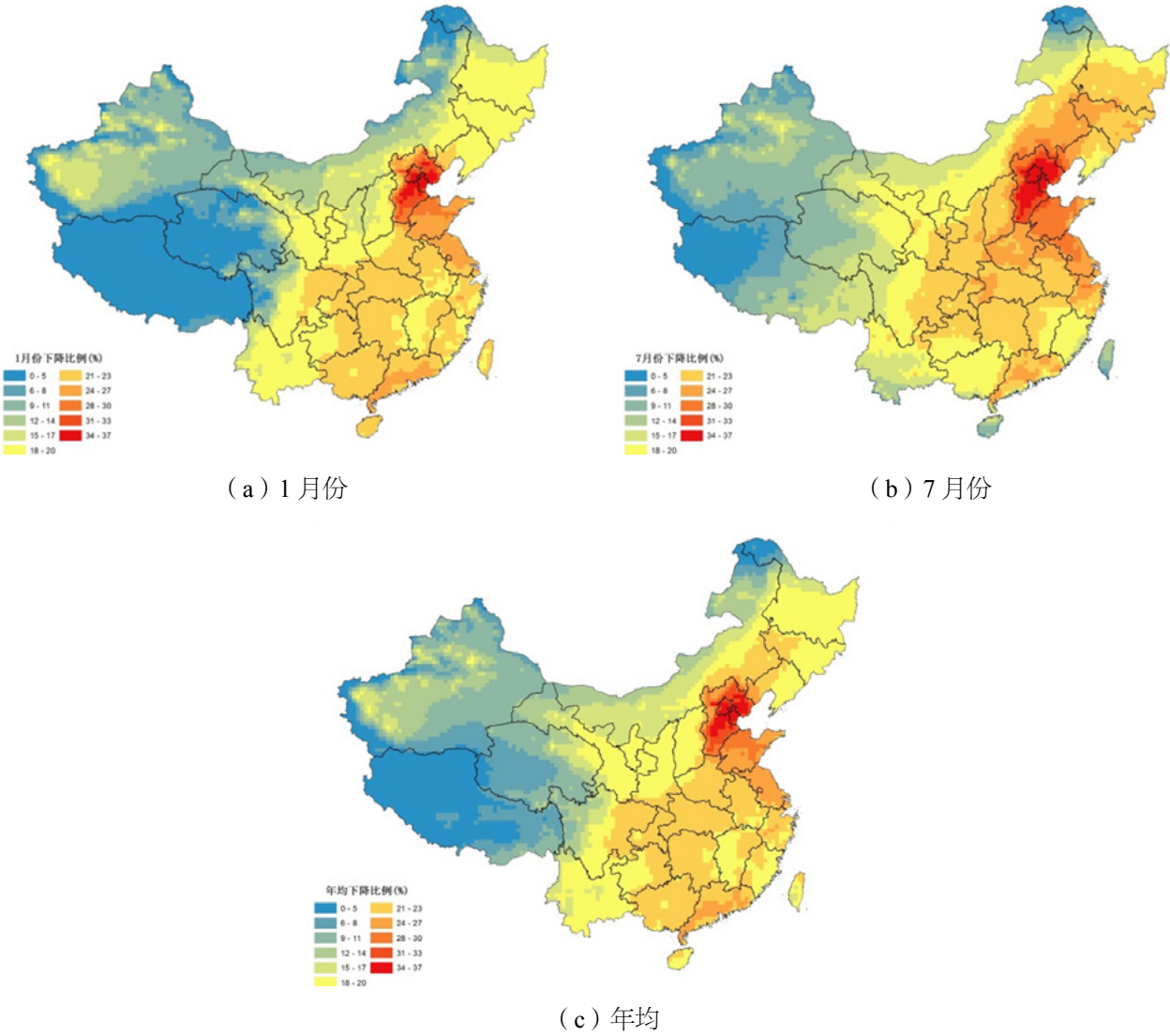


图2 《计划》实施年均PM_{2.5}浓度降幅模拟结果

表2 重点区域PM_{2.5}年均浓度降幅情况

区域	统计城市数/个	1月降幅	7月降幅	年均降幅
长三角	25	23.09%	26.20%	23.98%
珠三角	9	24.37%	23.27%	24.04%
京津冀	13	33.66%	35.02%	33.99%
全国	333	21.78%	23.02%	22.08%

表3 全国各省份PM_{2.5}年均浓度降幅情况

省份	统计城市数/个	1月降幅	7月降幅	年均降幅
北京	1	36.72%	37.35%	36.88%
天津	1	36.01%	35.86%	35.98%
河北	11	32.75%	34.54%	33.20%
山西	11	18.35%	21.18%	19.30%
内蒙古	12	17.47%	19.98%	18.23%
辽宁	14	17.89%	17.31%	17.70%

续表

省份	统计城市数/个	1月降幅	7月降幅	年均降幅
吉林	9	18.55%	21.81%	19.31%
黑龙江	13	18.44%	19.99%	18.85%
上海	1	23.86%	24.73%	24.12%
江苏	13	23.90%	26.84%	24.77%
浙江	11	21.50%	25.03%	22.42%
安徽	17	20.51%	22.21%	20.84%
福建	9	18.96%	14.63%	17.13%
江西	11	19.63%	20.15%	19.74%
山东	17	26.29%	27.72%	26.66%
河南	18	20.98%	23.48%	21.54%
湖北	13	20.67%	21.56%	20.85%
湖南	14	20.49%	20.93%	20.56%
广东	21	23.60%	23.15%	23.48%
广西	14	20.78%	18.00%	20.27%
海南	2	20.65%	14.00%	18.49%
重庆	1	19.24%	19.65%	19.37%
四川	24	20.08%	20.89%	20.23%
贵州	9	19.84%	19.61%	19.80%
云南	16	18.10%	16.86%	17.79%
西藏	1	0.10%	3.16%	1.04%
陕西	10	18.54%	20.76%	19.08%
甘肃	14	18.42%	19.90%	18.80%
青海	1	18.45%	19.17%	18.84%
宁夏	5	18.03%	19.78%	18.68%
新疆	19	16.72%	16.57%	16.67%
全国	333	21.78%	23.02%	22.08%

28个气压层，层间距自下而上逐渐增大。

气象数据：WRF模型的初始输入数据采用美国国家环境预报中心（NCEP）提供的6小时一次、1°分辨率的FNL全球分析资料^[13]。

1.2.2 排放清单

CMAQ模型所需排放清单的化学物种主要包括SO₂、NO_x、颗粒物（PM₁₀、PM_{2.5}及其组份）、NH₃和VOCs（含多种化学组份）等多种污染物。其中SO₂、NO_x排放数据采用2010年污染源普查更新数据，人为源颗粒物（含PM₁₀、PM_{2.5}、BC、OC等）、VOCs（含主要组份）等排放数据采用2010年清华大学MECI排放清单，生物源VOCs排放数据源于全球排放清单GEIA^[14]，NH₃排放数据源于REAS^[15]排放清单。本研究通过整合区域排放清单（MEIC、REAS、GEIA）与中国本地化排放数据（污染源普查），采用“自上而下”与“自下而上”相结合的方法，经空间分配、时间分配、化学分解三个技术环节，建立

了CMAQ模型所需的高空间分辨率、高时间分辨率、高化学分辨率排放清单。2010年大气污染物排放清单数据来源如表1所示，SO₂、NO_x、PM_{2.5}及VOCs国家尺度排放清单如图1所示。

2 环境效果分析

CMAQ模型模拟结果表明（表2），《计划》中拟定的各项污染减排措施落实后，全国、京津冀、长三角及珠三角区域PM_{2.5}年均浓度将分别比2012年下降22.08%、33.99%、23.98%、24.04%，可以实现《计划》提出的PM_{2.5}年均浓度下降目标，《计划》拟定的空气质量可达。PM_{2.5}降幅最大的地区主要集中在北京、天津、石家庄等重污染城市周边，其次为整个京津冀地区；此外以“北京—三门峡—上海”为顶点构成的污染三角区及珠三角地区PM_{2.5}降幅较大。PM_{2.5}浓度降幅较大的地区与PM_{2.5}高污染地区在空间上高度重合，体现了空间差异化的控制要求，具体见图2。

从各地PM_{2.5}改善效果来看，北京、天津、河北

降幅最大, $PM_{2.5}$ 年均浓度降幅超过 30%; 山东、江苏、上海、广东、浙江、河南、湖北、安徽、湖南、广西及四川 $PM_{2.5}$ 年均浓度降幅均超过 20%; 其他省份 $PM_{2.5}$ 年均浓度降幅均低于 20%, 西藏 $PM_{2.5}$ 基本不发生变化, 具体见表 3。

通过对 2013—2014 年全国 $PM_{2.5}$ 监测数据进行对比分析表明,《计划》颁布实施以来,除承德、大连、厦门、银川 4 个空气质量相对较好的城市 $PM_{2.5}$ 年均浓度略微下降以外,其他开展 $PM_{2.5}$ 监测的城市 $PM_{2.5}$ 年均浓度均有不同程度下降。由于部分省份开展 $PM_{2.5}$ 监测的城市少,不足以代表各省总体情况。选取河北、山东、山西、广东、浙江、江苏 6 个开展 $PM_{2.5}$ 监测城市数较多的省份以及北京、天津、上海、重庆 4 个直辖市进行分析,得出以下结果: $PM_{2.5}$ 年均浓度降幅较大的省(直辖市)为山西、山东、上海,降幅分别为 17.9%、17.3%、16.1%;降幅较小的省(直辖市)为江苏、重庆、北京,降幅分别为 8.9%、7.1%、3.4%;重点区域中,京津冀、长三角、珠三角 $PM_{2.5}$ 年均浓度分别下降 12%、24%、11%。按照目前下降比例推测,《计划》所制定的 2017 年空气质量下降目标总体能够实现,但是从目前北京市下降比例来看,要实现 2017 年 $PM_{2.5}$ 年均浓度控制在 $60 \mu g/m^3$ 存在较大困难。

3 结论

(1) 如果《计划》得以完全实施,将可以减少 641 万吨 SO_2 、859 万吨 NO_x 、547 万吨颗粒物(不含扬尘污染控制)、627 万吨 VOCs, 预计 2017 年 SO_2 、 NO_x 、烟粉尘和 VOCs 排放量分别为 1730 万吨、1727 万吨、906 万吨、2486 万吨,比 2012 年分别下降 18.3%、26.6%、29.1% 和 7.9%。

(2) 如果《计划》得以完全实施,全国、京津冀、长三角及珠三角区域 $PM_{2.5}$ 年均浓度将分别相比 2012 年下降 22.08%、33.99%、23.98%、24.04%,《计划》所制定的目标将能够实现。

(3) 北京、天津、河北降幅最大, $PM_{2.5}$ 年均浓度降幅超过 30%; 山东、江苏、上海、广东、浙江、河南、湖北、安徽、湖南、广西及四川 $PM_{2.5}$ 年均浓度降幅均超过 20%; 其他省份 $PM_{2.5}$ 年均浓度降幅均低于 20%, 西藏 $PM_{2.5}$ 基本不发生变化。

参考文献

- [1] Chan C K, Yao XH. Air pollution in mega cities in China [J]. Atmospheric Environment, 2008, 42(1): 1–42.
- [2] 贺克斌, 杨复沫, 段凤魁. 大气颗粒物与区域复合污染 [M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [3] 程念亮, 李云婷, 张大伟, 等. 2013 年 1 月北京市一次空气重污染成因分析 [J]. 环境科学, 2015, 36(4): 1154–1163.
- [4] 李璇, 聂腾, 齐珺, 等. 2013 年 1 月北京市 $PM_{2.5}$ 区域来源解析 [J]. 环境科学, 2015, 36(4): 1148–1153.
- [5] 环境保护部, 国家发展和改革委员会, 财政部. 重点区域大气污染防治“十二五”规划 [Z]. (2012–10–29). http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/gwy/201212/t20121205_243271.htm.
- [6] 国务院. 大气污染防治行动计划. [EB/OL](2013–9–10). <http://wenku.baidu.com/link?url=rXJBsbm39KyKHfEfU-upJlpmG75eWuR1WrMKIWwae-NfgPzwZW329a9E1zmiSj5wgk-acu1RswqjRGD-xlqj2ZSNQOTgPwRvIrvO7-N2n5K>.
- [7] 第一次全国污染源普查资料编纂委员会. 污染源普查技术报告 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- [8] 第一次全国污染源普查资料编纂委员会. 污染源普查数据集 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- [9] Multi-resolution Emission Inventory for China. <http://www.meicmodel.org/>.
- [10] National Center for Atmospheric Research. WRF USERS PAGE [EB/OL]. .
- [11] CMAQ. CMAQ 4.7.1 Operational Guidance Document [EB/OL]. (2010–06–28). http://www.cmaq-model.org/op_guidance_4.7.1/index.cfm.
- [12] 王金南, 雷宇, 薛文博, 等.《大气污染防治行动计划》环境效果及其成本效益模拟分析 [R]. 重要决策信息参考, 2013, (20).
- [13] National Center for Atmospheric Research. CISL Research Data Archive [EB/OL]. <http://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2/>.
- [14] Emissions of Atmospheric Compounds and Compilation of Ancillary Data (ECCAD). Emissions of Atmospheric Compounds and Compilation of Ancillary Data [EB/Z]. 2009. <http://www.geiacenter.org>.
- [15] Atmospheric Composition Research Program. Regional Emission inventory in Asia [EB/OL]. (2006–04–26). <http://www.jamstec.go.jp/frsgc/research/d4/emission.htm>.

(责任编辑: 李晨曦)