

北京市控制大气污染四期紧急措施环境有效性分析

袁敬,傅立新,余学春,郝吉明,贺克斌(清华大学环境科学与工程系,北京 100084, E-mail: jear-y@263.net)

摘要:对北京市控制大气污染的四期紧急措施进行量化,分别计算出各项控制措施实施后的排放削减量,建立排放清单.采用空气质量模型,模拟了紧急措施实施的各阶段市区内一次大气污染物 SO_2 、 NO_x 和 PM_{10} 浓度的时空分布情况,分析和评价了四期紧急措施的环境有效性.结果表明,四期紧急措施对 SO_2 和 NO_x 的控制效果较好, PM_{10} 的环境浓度下降不明显.

关键词:大气污染;排放清单;空气质量模型;环境有效性

中图分类号:X51, R122 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2002)03-05-0009

Environmental Effect Analysis for Four Stage Measures of Short-term Air Pollution Control in Beijing

Yuan Jing, Fu Lixin, Yu Xuechun, Hao Jiming, He Kebin(Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China E-mail: jear-y@263.net)

Abstract: The new emission inventories of Beijing city were developed based on the Four Stage Measures of Short-term Air Pollution Control implemented by Beijing municipal government. The concentrations of primary air pollutants SO_2 , NO_x and PM_{10} in urban area during the time period of the Four Stages were simulated by an air quality model. It was shown that those measures have significant effects on the reductions of emissions and environmental concentrations of SO_2 and NO_x , while for PM_{10} , the control strategies were not so effective.

Keywords: air pollution; emission inventories; air quality model; environmental effect

当前国际上对于城区空气质量的研究,比较常见的方式是采用多源扩散模式进行模拟.其中,对环境有效性方面的研究有:1998年,Seika Manfred等人利用 ABM 模型对伦敦地区 $100\text{km} \times 100\text{km}$ 范围内各污染源特别是交通污染源对环境空气造成的浓度进行了模拟研究^[1], Harvard 大学公共卫生学院利用 CALPUFF 模型模拟了美国东部火电厂和高速公路污染物排放的环境影响^[2].但到目前为止,国内外专门针对具体控制措施进行的环境有效性研究还不多见.

北京市政府自 1998 年 12 月至 2000 年 10 月,陆续采取了四期控制大气污染的紧急措施,取得了一定的成效.为了对这四期紧急措施的环境有效性进行分析,本研究建立了从量化控制措施,到计算污染物排放清单,进而利用空气

质量模型模拟措施实施前后的空气质量的一套研究思路.建立了各期紧急措施实施前后市区污染物的一系列排放清单,采用空气质量模型,模拟了四期紧急措施实施的各个阶段市区内一次大气污染物 SO_2 、 NO_x 和 PM_{10} 浓度的时空分布情况,从技术角度,对四期紧急措施的力度及环境有效性进行了分析和评价.

1 排放清单的建立

本次研究的范围为北京市规划市区,东西向从定福庄到五里坨,南北向从南苑到清河,总面积约 1040km^2 .将研究区域网格化,网格大小为 $1.5\text{km} \times 1.5\text{km}$.研究的基准年是采取紧急措施前的 1998 年.

基金项目:国家重点基础研究项目(G1999045700)

作者简介:袁敬(1972~),男,硕士研究生,主要研究方向为大气污染的模拟与控制以及机动车污染.

收稿日期:2001-03-05;修订日期:2001-08-30

1.1 流动源排放清单

研究的基本思路是将机动车排放源分为线源和面源分别处理^[3].对于交通繁忙、车流量大的城市主干道、快速路、环线等,按线源考虑,共计188条.实地调查,统计其车流量、车型分布、车流时间变化等详细信息,进而计算出源强.对于其余细小、难以准确统计车流特征的道路,按面源处理.对研究区域进行网格化,认为细小道路产生的机动车污染物排放在各网格内均匀分布,并根据网格与车流分布的相关特征,落实网格面源排放量.

线源高峰小时流量下各路段上各种污染物的排放强度可由公式(1)计算^[4]:

$$E_p = \sum_{i=1}^n Q \cdot q_i \cdot e_{pt} \quad (1)$$

其中, E_p 为高峰小时污染物排放强度[g/(km·h)], Q 为总车流量(辆/h), q_i 为车型比例系数, e_{pt} 为 i 型车排放因子(g/km). 可通过MOBILE5模型计算获得^[5]. 根据车流时间分布和道路长度可进一步计算出路段污染物排放总量.

确定面源排放的分布需要将与机动车排放相关的总量按一定比例分配到各网格中^[4]. 具体方法是: 首先, 调查各车型机动车的年均行驶里程, 计算出全市全部机动车在规划市区的总行驶里程. 由于线源行驶里程是可测算的, 用总行驶里程减去线源行驶里程即可得到面源行驶里程. 其次, 将规划市区划分为 $1.5\text{ km} \times 1.5\text{ km}$ 的网格, 取网格内的人口密度和道路长度合成一个综合指数 α , 通过 α 将面源行驶里程分配到网格中. 最终, 面源污染物排放量等于各车型在网格内的行驶里程与其排放因子乘积的加和.

1.2 固定源排放清单

固定源根据烟囱的高度分为点源和面源^[4]. 将烟囱高度在60 m以上的固定源作为点源. 经过详细调查, 确定规划市区有120个点源. 通过确定它们的位置坐标、烟囱直径、排放高度、烟气出口温度和速度、燃料消耗量和排放因子等, 计算出每一点源的污染物排放量. 根据排放因子和烟囱高度的不同, 将固定源面源分

为6类: 茶炉灶、采暖锅炉、工业锅炉、采暖小煤炉、非采暖小煤炉和窑炉. 通过调查各行政区内燃料消耗量、燃烧设备和排放因子等, 计算出污染物的排放量, 并分配至相应的网格.

2 四期紧急措施排放量削减计算

四期紧急措施主要包括: 机动车的报废、改造、维修、控制, 茶炉大灶的改造, 优质煤、天然气替代, 集中供热, 交通及建筑扬尘控制以及一些管理措施. 1998年污染源排放清单确立后, 笔者对四期紧急措施中与机动车和固定源污染控制有关的内容进行量化. 主要包括: 根据北京市新颁布的《轻型汽车排气污染物排放标准》重新计算了轻型车排放因子; 根据对微型面包车等老旧车的报废、改造, 更新相应车型的有关参数; 根据部分路段的车辆禁行规定, 更新其车辆行驶里程等; 根据针对市区不同区域的锅炉的替代方案在网格中落实燃煤削减量等. 在对可量化措施进行了量化的基础上, 分别计算出各期措施针对茶炉和大灶、中小型工业锅炉和采暖锅炉、电厂锅炉以及机动车的控制措施导致污染物排放量的削减量(详见表1), 进而得到了各期紧急措施执行后的污染源排放清单.

排放清单显示, 四期措施实施前的1998年, 主要大气污染物 SO_2 、 NO_x 和 PM_{10} 的年排放量分别为: 27.9、28.9和30.0万t; 四期措施实施后, 3种主要污染物的年排放量分别下降为21.72、22.71和28.12万t, 下降幅度分别为22.15%、21.42%和6.27%. 各期紧急措施污染物排放的削减力度如图1所示.

3 四期紧急措施空气质量效果评价

3.1 空气质量模型及验证

本研究采用美国国家环保局开发并推荐使用ISCS T3模型计算污染物浓度. ISCS T3模型是一个大气污染物扩散模型, 它描述各类污染源排出的污染物在各种气象条件和下垫面条件下的扩散稀释规律, 其中包括污染物自源排放后的输送、湍流扩散、抬升和各种转化、迁移与清除过程以及在这些条件下对空气污染物浓度的定量估算^[6]. 其使用的公式是稳态封闭型高斯扩散方程, 基本形式如公式(2)所示^[7]:

表 1 对四期紧急措施的量化/万 t

Table 1 Quantification of the Four Stage Measures

期次	对措施的量化	SO ₂	NO _x	PM10
		削减量	削减量	削减量
1	三环内茶灶炉削减耗煤量 31.12 万 t	0.37	0.08	0.10
	报废面的 1.4 万辆,其他车 2.4 万辆,劝退外地车 544 辆/天,尾气超标车停运和治理 3782 辆		1.39	
2	茶灶炉全部改用清洁能源,减少耗煤量 21.197 万 t	0.25	0.06	0.07
	20 吨以下锅炉使用清洁能源和低硫煤 233 万 t	1.68	0.08	0.36
	40 %电厂锅炉使用低氮燃烧器,涉及燃煤 297.2 万 t		0.31	
	报废的面的 6762 辆,其他车 13238 辆,尾气超标车停运和治理 1.7 万辆,装真空延时阀改造车 6.2 万辆		1.58	
3	全市茶灶炉减少耗煤量 9.68 万 t	0.12	0.03	0.03
	四环内平房采用清洁能源代替采暖用煤 54 万 t,使用 350 万 t 低硫优质煤	2.57	0.13	0.70
	煤粉炉和电厂锅炉使用低氮燃烧器		0.08	
	停运和治理尾气超标车 5590 辆,劝退外地车 94 辆/天,治理超标车 1.2 万辆,三元催化和电喷改造 8.5 万辆		0.99	
4	1500 台燃煤锅炉改清洁燃料,天然气使用达 10 亿 m ³	1.19	0.64	0.62
	机动车尾气达标率 90 %,三元催化和电喷改造车累计达 17 万辆		0.82	
合计		6.18	6.19	1.88

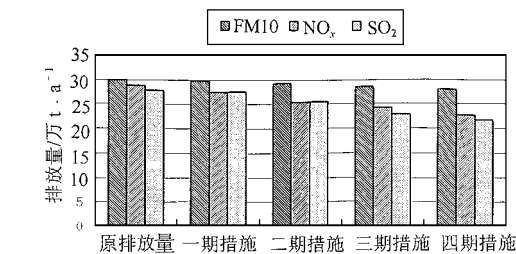


图 1 四期措施排放量削减情况

Fig.1 The reductions of emissions for Four Stage Measures

$$c = \frac{QKVD}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \quad (2)$$
其中, c 表示污染物的浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$), Q 为污染物源强(g/s), u_s 为烟囱排气口处的平均风速(m/s), K 为单位转换系数(当 Q 是 g/s , c 是 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时, $K = 10^6$), V 为垂直项,用以表明垂向扩散能力的一项综合参数, D 为污染物的衰减参数, σ_y σ_z :分别为横向和垂向浓度分布标准方差(也称扩散参数)。

ISCST3 模型需要的输入参数包括气象资料(逐时)、污染物排放资料和受体点信息。

为了对模型进行验证,本研究将 1998 年北京大气污染物排放清单数据及 1998 年北京市逐时的气象数据输入 ISCST3 模型,计算了北京市 3 种大气污染物(SO_2 、 NO_x 、PM10)全年的日均浓度值。将模拟的计算值与实际监测值进行了比较。从验证结果来看,日均值计算结果与监测值的总体偏差不大,计算值同监测值具有较好的相关性。通过对本底浓度的取值进行修正后,相关性进一步提高。表 2 给出了年日均值的验证结果。笔者认为,在现有排放清单及环境本底值准确度情况下,模型计算的结果是比较满意的。

表 2 环境空气质量模型计算结果验证/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Table 2 Testing the simulating results of air quality model

污染物	SO ₂	NO _x	PM10
浓度监测值	120	152	184
浓度计算值	118.75	157.02	186.35
偏差/ %	- 1.04	3.30	1.28

3.2 环境浓度模拟计算

根据四期紧急措施实施后的排放清单,利

用空气质量模型 ISCS T3 进行计算,分别模拟出各期措施中针对茶炉和大灶、中小型工业锅炉和采暖锅炉、电厂锅炉以及机动车的控制措施导致污染物环境浓度的变化(如表 3 所示)。由于缺乏基础数据,本次研究未包括针对扬尘污染的控制措施。

表 3 模式计算各期紧急措施实施后污染物环境浓度的下降值/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
Table 3 The simulating results of the reductions of ambient concentrations after the implementations of the Four Stage Measures

措施	SO ₂		NO _x			P M10		
	茶灶炉	锅炉	茶灶炉	锅炉	电厂	机动车	茶灶炉	锅炉
一期措施后	2.48		0.53			10.15	0.45	
二期措施后	1.68	8.5	0.4	0.4	0.3	11.53	0.32	1.4
三期措施后	0.8	13.1	0.2	0.65	0.08	7.23	0.14	2.73
四期措施后	6.07		3.2			5.97	2.42	
总浓度下降	11.0	21.6	4.33	1.05	0.38	34.88	3.32	4.13

各期措施的总体环境效果如图 2 所示。

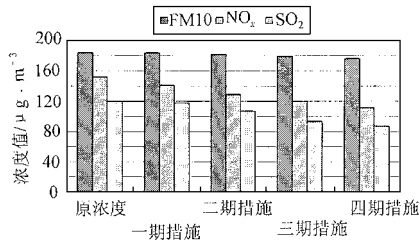


图 2 四期措施的环境效果
Fig. 2 The environmental effect of the Four Stage Measures

措施针对的对象不同,实施的区域不同,取得的效果是不同的。为了进一步评价四期措施的环境有效性,采用空气质量模型对此进行了模拟。对四期紧急措施进行整理,按排放高度的不同将措施归纳为针对茶灶炉的、针对锅炉(包括采暖锅炉和工业锅炉)的、针对热电厂的(主要是加装低氮燃烧器)和针对机动车的 4 大类。同时,对地域也进行了重新划分,东城、西城、宣武、崇文 4 个区面积较小,且都在二环内,把它们合并成 1 个区,称为老城区;丰台区东西延伸过长,从城区中央分成丰台东和丰台西 2 个区域;朝阳区南北延伸过长,从城区中央分成朝阳南和朝阳北 2 个区域;海淀区和石景山区保持原状。这样规划市区共分成 7 块区域。

模拟在假定排污削减量均为 1 万 t 的条件下,4 类措施分别造成的污染物环境浓度的年日均值的下降量(如表 4 所示)。以各类措施都涉及到 NO_x 为例,由表 4 可见,单从浓度效应角度来看,在削减等量排放量的情况下,不同控制措施造成污染物环境浓度下降的顺序为:机动车>茶炉大灶>中小工业锅炉及采暖锅炉>电厂锅炉。

表 4 不同控制措施的环境浓度效果分析/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
Table 4 Analysis of environmental effects for different control measures

措施	SO ₂	NO _x	P M10
针对茶灶炉的措施	5.71	5.16	4.46
针对锅炉的措施	3.48	3.15	2.72
针对热电厂的措施		0.96	
针对机动车的措施		7.08	

同理,模拟计算的控制措施在不同实施区域上取得的不同效果如图 3 所示。可见,在削减等量排放量的情况下,控制措施在不同实施区域造成污染物环境浓度下降的顺序为:老城区>海淀区>朝阳北>丰台东>丰台西>石景山>朝阳南。

4 结语

(1) 从排放量的角度来看,四期措施实施

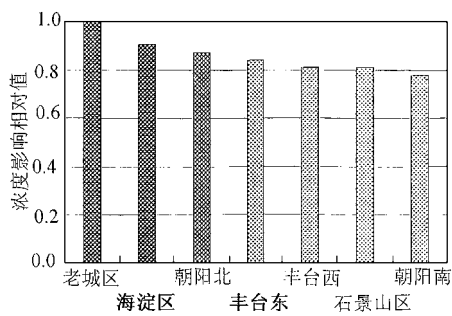


图 3 不同区域的削减效果对比

Fig. 3 Analysis of environmental effects for different control places

后,SO₂、NO_x和PMI0,3种主要污染物年排放量的下降幅度分别为22.15%、21.42%和6.27%。

(2) 从空气质量的角度来看,经过四期削减措施之后,SO₂、NO_x和PMI0的年日均浓度分别下降为76.4487、123.5841、243.3569 μg/m³,与1998年同期相比,下降幅度分别为:36.3%、18.7%、5.3%。四期紧急措施对SO₂和NO_x的控制效果较好,而PMI0的环境浓度下降不明显。

(3) 对不同污染源、不同区域的污染控制进行效果评价,从浓度效应角度来看(以NO_x为例),控制措施的优先次序应为:机动车控制

措施>茶炉大灶控制措施>中小工业锅炉及采暖锅炉控制措施>电厂锅炉控制措施;对控制区域的选择优先次序应为:对老城区的控制措施>对海淀区的控制措施>对朝阳北的控制措施>对丰台大东的控制措施>对丰台西的控制措施>对石景山的控制措施>对朝阳南的控制措施。

参考文献:

- 1 Seika Manfred, Harrison Roy M. Ambient Background Model (ABM): Development of an urban Gaussian dispersion model and its application to London. Atmospheric Environment, 1998, 32(11): 1881 ~ 1891.
- 2 Wolf S K, Phonoboon K et al. Expoure Efficiency: An Idea Whose Time Has Come. SGOMSEC, 1999, (14).
- 3 郝吉明,傅立新等.城市机动车排放污染控制.北京:中国环境科学出版社,2001.141 ~ 153.
- 4 Hao Jiming, He Dongquan et al. A study of the emission and concentration distribution of Vehicular pollutants in the urban area of Beijing. Atmospheric Environment, 2000, 34(3): 453 ~ 465.
- 5 傅立新,贺克斌等. MOBILE 汽车源排放因子模式研究.环境科学学报,1997,17(4):474 ~ 480.
- 6 Atkinson D G et al. Improvement of the EPA Industrial Sources Complex Dispersion Model. Journal of Applied Meteorology, 1996, 36: 1088 ~ 1095.
- 7 US Environmental Protection Agency. User's guide for the Industrial Sources Complex (ISC) Dispersion Models, Vol. II- Description of model algorithms. 1995b, EPA-454/B-95-003b.