

北京市机动车污染分担率的研究

郝吉明, 吴烨, 傅立新, 贺克斌, 何东全 (清华大学环境科学与工程系, 北京 100084, E-mail: hjm-den@tsinghua.edu.cn)

摘要: 研究建立了以 GIS 为平台的北京市机动车排放清单, 获得了北京市规划市区内分车型以及分区域的机动车排放分担率。在此基础上, 采用修正的 ISCST3 模型模拟了 1995 年规划市区 CO 和 NO_x 浓度的时空分布情况, 并分析了机动车排放对北京市大气浓度的贡献率。结果表明, 1995 年北京市规划市区 CO 和 NO_x 的年排放分担率分别达到了 76.8% 和 40.2%; 相应的年浓度分担率则分别为 76.5% 和 68.4%, 在城市中心区以及道路边 2 种污染物的浓度分担率则更高。因此, 在北京市对机动车排放污染实施控制是有效削减 CO 和 NO_x 的主要途径。

关键词: 机动车污染; 分担率; 北京; 空气质量

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2001)05-06-0001

Motor Vehicle Source Contributions to Air Pollutants in Beijing

Hao Jiming, Wu Ye, Fu Lixin, He Kebin, He Dongquan (Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China E-mail: hjm-den@tsinghua.edu.cn)

Abstract: Beijing's motor vehicle emission inventory based on GIS technology was developed, and used to estimate the contribution rate of different types of vehicles and different areas of vehicles to the total vehicular emissions in the urban area of Beijing. ISCST3, a gaussian dispersion air quality model, was modified at low wind speed condition, and then used to facilitate the study of the spatial and temporal distribution of CO and NO_x concentrations in Beijing. It was shown that vehicle source emissions of CO and NO_x accounted for 76.8% and 40.2%, respectively, of the total emissions in 1995. The simulation results also showed that emissions from the vehicle sources had contributed 76.5% and 68.4% of the total CO and NO_x concentrations in urban atmosphere of Beijing in 1995, and were even higher at downtown and near the arteries. Therefore, strategies for CO and NO_x pollution control will of necessity need to focus on the vehicle sources.

Key words: vehicular pollution; contribution rate; Beijing; air quality

90 年代以来, 随着北京市人口的增长和经济的发展, 城市机动车保有量以年平均约 17% 的速度快速增长, 截至 1998 年, 北京市的机动车总保有量已经突破了 130 万辆。同时, 由于目前我国生产的汽车排放性能不佳, 车辆维护保养差, 道路交通建设滞后, 使得在用车的平均排放因子较高^[1]。上述各种因素的作用导致机动车污染物排放量急剧上升, 并使得北京市大气环境质量趋向进一步恶化。本文从以地理信息系统 (Geographic Information System, GIS) 为平台建立的北京市机动车排放清单入手, 计算

了北京市规划市区分车型以及分区域的机动车排放分担率。在此基础上, 采用修正的 ISCST3 模型模拟了 1995 年规划市区 CO 和 NO_x 浓度的时空分布情况, 并量化了机动车排放对北京市大气污染的浓度分担率。确定北京市机动车污染的排放分担率和浓度分担率水平, 可为进行机动车污染控制的科学决策提供重要依据。

基金项目: 福特-中国研究发展基金资助课题 (9712705)

作者简介: 郝吉明 (1946 ~), 男, 博士, 教授, 主要从事大气污染控制研究。

收稿日期: 2000-09-24

1 机动车污染物排放清单

研究的基本思路在于将机动车排放源分为线源和面源分别处理.对于交通繁忙、车流量大、对周围环境影响较大的城市主干路、快速路和环线等,按线源考虑,并通过实地调研的方法,对其车流量、车型分布、车流的时间变化等进行详细的统计分析,以便准确地进行源强计算;对于其它比较细小、车流特征难以精确统计的交通道路,以面源处理,首先对研究区域进行网格化,对于不同空间位置的网格,根据网格自身与车流分布相关的特征,将总面源排放分配到各个网格.

线源高峰小时车流量各路段上各种污染物的排放强度可通过式(1)计算:

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

其中, E_p 为高峰小时污染物排放强度[$\text{g}/(\text{km} \cdot \text{h})$], Q 为高峰小时总车流量(辆/h); σ_i 为车型比例系数; e_{pi} 为 i 型车排放因子(g/km),由修正的 MOBILE5 排放因子模型计算获得^[2,3].由此,根据车流的时间分布和道路长度可进一步推算出各路段的污染物排放总量.

模拟面源排放分布的具体方法是将与机动车排放相关的某些总量按一定的比例分配到各网格中去.首先通过机动车行驶里程调查得到各车型年均行驶里程,获得北京市全部机动车在规划市区内的总行驶里程,并通过确定机动车的线源行驶里程,推算出机动车面源行驶里程(等于总行驶里程减去线源行驶里程);然后将规划市区划分为 $1.5\text{km} \times 1.5\text{km}$ 的网格,以网格内的人口密度和道路长度作为参数合成一个综合指数 α ,利用 α 将面源行驶里程分配到各网格中去;最终得到的网格面源的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. j 网格面源高峰小时污染物排放强度通过式(2)计算:

$$E_{pj} = \sum_{i=1}^n [\alpha K_j^1 + (1 - \alpha) K_j^2] M_a \cdot q_i \cdot e_{pi} \quad (2)$$

其中, E_{pj} 为高峰小时污染物排放强度(g/h);

M_a 为面源行驶总里程(km/h); q_i 为车型比例系数; e_{pi} 为 i 型车排放因子(g/km); α 的取值为 $0.25^{[3]}$; K_j^1 和 K_j^2 分别为与网格内机动车行驶里程和过路机动车行驶里程相关的系数,通过式(3)和(4)计算:

$$K_j^1 = \frac{P_j}{P_T} \quad (3)$$

$$K_j^2 = \frac{l_j}{l_T} \quad (4)$$

其中, P_j 和 l_j 分别为网格 j 内的人口数和道路长度; P_T 和 l_T 分别为研究区域内总人口数和面源道路总长度.

将上述污染物的统计分析数据网格化之后,通过 GIS 来表达北京市不同区域机动车排放污染物的空间分布特征.

计算分析机动车污染分担率所需的固定源等其它源排放的数据通过调查和其它相关项目的研究获得,其排放清单也以 GIS 为平台建立.

2 修正的 ISCST3 空气质量模型的应用

ISCST3 模型是由美国联邦环保局开发并推广使用的大气污染物扩散模式,该模式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^[4].其基本原理是基于统计理论的正态烟流模式,使用的公式为目前广泛应用的稳态封闭型高斯扩散方程,其基本形式如式(5)所示^[5].

$$c = \frac{QKV D}{2 \pi u_s \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{y}{\sigma_y} \right]^2 \right\} \quad (5)$$

其中, c 为污染物的浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$); Q 为污染物的排放速率(g/s),即源强; 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,是用以表明垂向扩散能力的综合参数; 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).

机动车排放线源和面源的扩散可以通过将式(5)在横风向和上风向进行数值积分实现,如式(6)所示^[5].

$$c = \frac{Q_A K}{2 \pi u} \int_x \frac{VD}{\sigma_y \sigma_z} \left| \int_y \exp \left| -\frac{1}{2} \left| \frac{y}{\sigma_y} \right|^2 \right| dy \right| dx$$

其中, Q_A 为面源排放源强($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$);其它参数的物理含义同式(5).

ISCST3 模式对低风速条件下污染物扩散的模拟是不充分的,对于风速在 $0 \sim 1 \text{ m/s}$ 之间的情况均按 1 m/s 考虑,对于静风条件则不进行计算,模式输出的浓度为 0.根据北京市气象局提供的数据,1995 年全年有 1460h 的平均风速低于 1.0 m/s ,发生频率为 17%,大部分时间发生于夜间.因此,需要对低风速条件下污染物的扩散进行更精确的计算^[6,7].采用如下的公式对小风条件下($< 1 \text{ m/s}$)的扩散公式进行修正:

$$c(x, y, z) = \frac{qx}{\pi u \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left| \frac{x^2}{\sigma_x^2} - \frac{x}{\sigma_x} s \right| \quad (7)$$

其中, $s = \left| \frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right|$; u 为风速; q 为排放强度; $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 为水平和垂直方向的扩散系数.对于风速小于 0.3 m/s 的情况以 0.3 m/s 考虑,静风条件下的风向以前后时段的平均值计

算.

机动车污染物在排放初期由于机械扰动和热紊流作用形成一定尺度的初始扩散^[8],本研究根据 CALINE3 模式中确定扩散参数的算法对 ISCST3 模式进行了修正^[3],计算得到距道路 3 m 处的垂向扩散参数为 2.1 m.对于水平扩散参数,根据 HIWAY 模式的经验,在初始扩散处取为 3 m.

利用前门、车公庄和奥林匹克体育中心 3 个监测站的监测数据对修正的 ISCST3 模型的模拟结果进行了验证^[3].结果表明,ISCST3 在北京市的应用效果比较满意,特别是在模拟局地源影响不大、周围环境不太复杂的受体点浓度时具有较高的精度.

3 机动车污染排放分担率分析

3.1 机动车排放分担率的计算

城市机动车排放分担率 η_j (%) 定义为研究区域内机动车排放的污染物是 $Q_v(t)$ 与该污染物人为活动排放总量 $Q_t(t)$ 之比.其它固定源排放分担率的定义与此类似.研究中污染物排放总量为包括流动源和工业、民用等各种形式的固定源在内的人为污染源的排放.计算得到的 1995 年北京市规划市区机动车排放分担率和其它固定源的排放分担率结果见图 1.

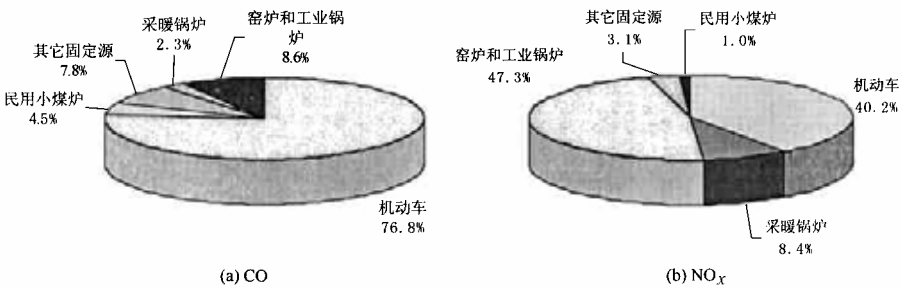


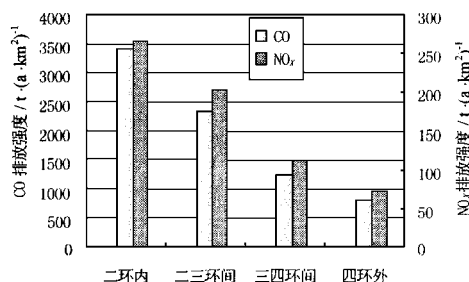
图 1 北京规划市区机动车和其它源排放分担率(1995 年)
Fig.1 The contribution rate of in the urban area of Beijing

上述计算结果表明,机动车排放已经成为北京市大气污染的一个主要来源,其中 CO 的排放分担率已经达到了 76.8%,NO_x 的分担率也有 40.2%.考虑到 1995 年北京市机动车数

量尚不足 100 万,随着机动车数量的快速增长,在无控条件下,北京市机动车排放分担率还将持续上升.

3.2 机动车污染物排放强度的区域分布

机动车排放强度定义为单位面积上机动车污染物的年排放量 $[t/(a \cdot km^2)]$ 。由于北京市不同地区交通道路密度和区域功能性质的显著差异,造成了市区内机动车污染物排放量的空间分布并不均衡。计算结果表明四环外的机动车排放量较大,CO和 NO_x 的排放分别占机动车总排放量的37.0%和38.5%。这主要是由于四环外占有了规划市区的大部分面积(约60%)造成的,并不能反映实际的排放强度。机动车污染物在不同区域的排放强度如图2所示。



(二环内包括二环,二三环包括三环,三四环包括四环)

图2 北京市不同区域机动车
污染物排放强度(1995年)

Fig.2 Vehicular emission density of
different areas in Beijing

结果表明,机动车污染物排放强度随着由城市中心向城市边缘的扩展呈现明显的递减趋势。造成这种趋势的主要原因在于北京市中心区域是商业、办公和居住的中心,人口密度大,交通稠密,因而机动车排放强度很大。

3.3 机动车分车型排放分担率分析

不同车型的车辆由于排放因子、运营比例、行驶里程、保有量等特征参数的不同,其在机动车污染物排放量中所占的份额会有显著的差异。根据北京市交通流量组成的调查结果(7:00~19:00),计算得到的北京市规划市区不同车型昼间机动车运营的排放分担率见图3。

结果表明,不同车型 NO_x 和CO的贡献水平差别较大。对于CO,轿车排放占总排放的一半左右,总质量小于3.5t的车辆(包括轻型车、中型车和轿车)占据排放的绝大部分,这主要是因为这部分车辆在市区内的运营比例较高造成的;而 NO_x 的排放总和中,重型车仍占有相当的比例,这主要是与重型车 NO_x 的排放因子较高的事实相对应。因此,对于城区CO的污染,可以控制小于3.5t的车辆为主,而对于 NO_x 的控制,则应该综合考虑所有车型的控制,并通过控制技术的改进和交通管理,以减少排放。

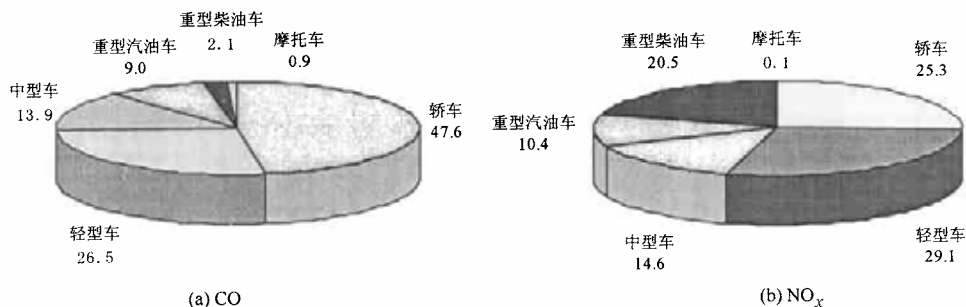


图3 北京规划市区 1995 年分车型的排放分担率(单位: %)

Fig.3 The contribution rate of different type vehicles in the urban area of Beijing (1995)

4 机动车污染浓度分担率分析

4.1 机动车污染浓度分担率的计算

根据上述建立的以GIS为平台的污染源排放清单,以及从北京市气象局获得的1995年

逐时气象数据,利用修正的ISCST3模型模拟了规划市区网格化区域的长期浓度,并计算了机动车排放在各网格区域的浓度分担率。结果见表1和图4。

模拟结果表明,北京市规划市区内机动车

表 1 各区域 CO 和 NO_x 的年均浓度及机动车
污染浓度分担率 (1995 年)

Table 1 The annual average concentration of CO and NO_x in different urban areas and contribution rate of vehicle emission concentration

区域	CO	NO _x	CO 分担率	NO _x 分担率
	/ μg·m ⁻³	/ μg·m ⁻³	/ %	/ %
二环内	3865.3	236.8	86.3	72.0
二三环间	2916.2	201.6	83.3	72.1
三四环间	2087.2	141.0	78.4	68.6
四环外	1436.9	87.4	73.0	67.0
规划市区平均	1955.9	125.0	76.5	68.4

污染浓度分担率是相当高的,所有网格内对 CO 的浓度分担率均大于 60 %,且 87 % 的网格分担率集中在 70 % ~ 90 % 之间;对 NO_x 而言,约 94 % 的网格其浓度分担率集中在 60 % ~ 80 % 之间.同污染物浓度的分布相似,机动车污染分担率也随着区域由郊区向市中心的推移而呈递增趋势.其中 CO 的分担率在二环内达到 86 %,NO_x 达到 72 %,反映出汽车源的重要性随着交通密集程度的增加而增加.

值得注意的是,机动车 NO_x 的浓度分担率与其排放分担率相比有非常显著的上升.其主要原因是本研究的模拟高度是人的呼吸带范围

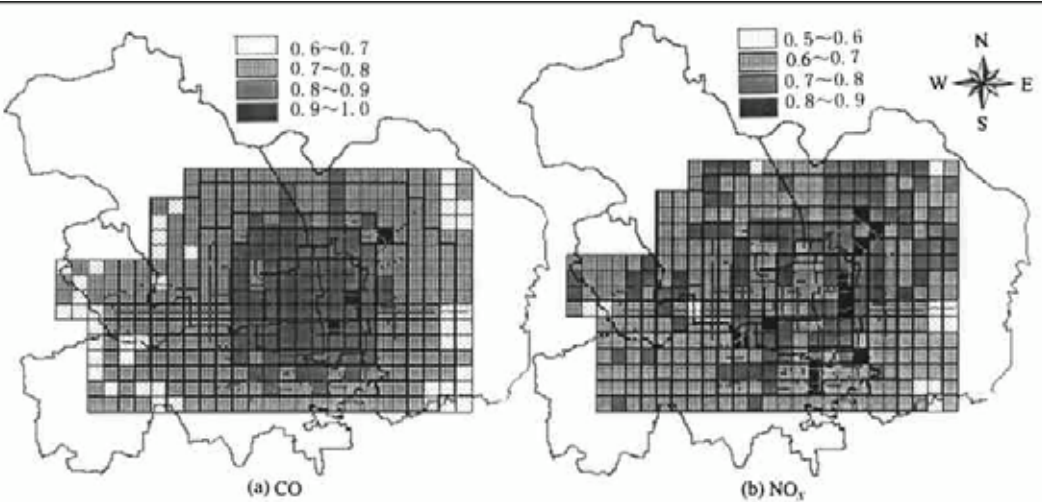


图 4 北京市规划市区机动车污染浓度分担率的空间分布 (1995 年)

Fig.4 The spatial distribution of contribution rate of vehical
e mission concentntion from urban areas in Beijing

(2 m),而对于在 NO_x 排放分担率中占有很大比重的工业点源等排放源,由于其排放高度较高(>60 m),而且多位于盛行风下风向的郊区,因此对市区 NO_x 浓度的影响显著削弱.

4.2 道路附近机动车浓度分担率

北京市车公庄和前门监测站均位于交通干线附近,因此,这 2 个受体点的机动车污染浓度分担率可以反映出道路附近受机动车排放的影响水平.

计算结果表明,北京市典型道路附近机动车污染的分担率明显高于市区平均值,特别是前门大街附近,CO 的年分担率超过了 90 %,NO_x 的年分担率也接近 80 % (见表 2).这说明机动车排放对交通干线附近区域的大气环境质量有着决定性的影响.北京市的环境监测数据表明这些区域已成为北京市污染最严重的区域,因此,其环境质量的改善主要取决于大幅度地降低机动车的排放.

表 2 北京市典型道路附近机动车浓度分担率(1995 年)/ %

Table 2 The contribution rate of vehicle emissiun concentrition of typical roadside in Beijing

区域	CO			NO _x		
	年平均	采暖期	非采暖期	年平均	采暖期	非采暖期
前门	90 .8	87 .7	92 .6	79 .0	68 .1	85 .3
车公庄	82 .8	79 .2	85 .2	75 .8	61 .7	84 .0

5 结论

机动车排放已经成为北京市大气污染的一个主要来源,其规划市区 CO 和 NO_x 的机动车年排放分担率已分别达到了 76.8 %和 40.2 %;相应的年浓度分担率则分别为 76.5 %和 68.4 %。考虑到 1995 年北京市机动车数量尚不足 100 万,随着机动车数量的快速增长,在无控条件下,北京市机动车污染分担率还将持续上升。

机动车排放机动车污染物排放强度随着由城市中心向城市边缘的扩散呈现明显的递减趋势。与此类似,机动车污染分担率也随着区域由市中心向郊区的推移而呈递减趋势。其中 CO 的浓度分担率在二环内达到 86 %,NO_x 则达到了 72 %,反映出汽车源的重要性随着交通密集程度的增加而增加。

北京市典型道路附近机动车污染的分担率明显高于市区平均值。这说明机动车排放对交通干线附近区域的大气环境质量有着决定性的影响,因此,交通干线附近区域环境质量的改善主要取决于大幅度地降低机动车的排放。

不同车型的车辆在机动车污染物排放量中所占的份额会有显著的差异。对于 CO,总质量小于 3.5t 的车辆(包括轻型车、中型车和轿车)占据排放的绝大部分;而 NO_x 的排放总和中,重型车仍占有相当的比例。因此,对于城区 CO 的污染,可以以控制小于 3.5t 的车辆为主,而

对于 NO_x 的控制,则应该综合考虑所有车型的控制。

参考文献:

1 何东全,郝吉明,傅立新.中国城市机动车污染挑战与对策.清华大学发展研究文集.北京:清华大学出版社,1998.145~149.

2 傅立新,贺克斌,何东全,唐仲洲,郝吉明. MOBILE 汽车源排放因子模式研究.环境科学学报,1997,17(4):474~480.

3 Hao Jiming, He Dongquan, Wu Ye, Fu Lixin, He Kebin. A study of the emission and concentration distribution of vehicular pollutants in the urban area of Beijing. Atmospheric Environment, 2000, 34(3):453~465.

4 US Environmental Protection Agency, 1995a. User's guide for the Industrial source Complex (ISC) dispersion models, Vol. I —— User's Instructions. EPA-454/B-95-003a.

5 US Environmental Protection Agency, 1995b. User's guide for the Industrial Source Complex (ISC) dispersion models, Vol. II —— Description of model algorithms. EPA-454/B-95-003b.

6 Sharan M. A mathematical model for the dispersion of air pollutants in low wind conditions. Atmospheric Environment, 1996, 30(8):1209~1220.

7 Sharan M, Yadav A, Singh M P. Comparison of the sigma schemes for estimation of air pollutant dispersion in low winds. Atmospheric Environment, 1995, 29(10):2051~2059.

8 Benson P E. Modification to the Gaussian vertical dispersion parameter near roadways. Atmospheric Environment, 1982, 16(6):1399~1405.