

郑君瑜, 车汶蔚, 王兆礼. 2009 基于交通流量和路网的区域机动车污染物排放量空间分配方法 [J]. 环境科学学报, 29(4): 815-821

Zheng JY, Che W W, Wang Z L. 2009 Traffic flow and road network-based spatial allocation of regional mobile source emission inventories [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 29(4): 815-821

基于交通流量和路网的区域机动车污染物排放量空间分配方法

郑君瑜^{1*}, 车汶蔚¹, 王兆礼²

1 华南理工大学环境科学与工程学院, 广州 510006

2 华南理工大学土木与交通学院, 广州 510641

收稿日期: 2008-06-03 修回日期: 2008-10-19 录用日期: 2009-02-17

摘要: 针对传统的机动车污染物排放空间分配方法精度不高的问题, 提出了一种基于交通流量与道路系统的机动车污染物排放“标准道路长度”空间分配的新方法. 该方法以实际道路网络作为机动车污染物排放的分配基底, 根据不同等级道路交通流量的差异引入“标准道路长度”转换体系, 并利用 GIS 技术完成机动车污染物排放的空间分配过程. 将该方法应用于珠三角地区, 建立了 2004 年珠三角地区的机动车污染物空间分配清单. 研究表明, 珠三角地区机动车高污染物排放集中在车辆保有量大、路网密集、交通流量大的城市和地区, 且高污染物排放空间分布情况与主干路网的分布一致, 呈现出明显的路状分布; 结果显示, 该方法能有效降低传统方法空间分配的偏差, 尤其当路网分辨率提高时, 分配结果精度更高, 更切合实际排放情况.

关键词: 机动车污染; 标准道路长度; 空间分配; 交通流量; GIS

文章编号: 0253-2468(2009)04-815-07 中图分类号: X701 文献标识码: A

Traffic flow and road network-based spatial allocation of regional mobile source emission inventories

ZHENG Junyu^{1*}, CHE Wenwei¹, WANG Zhaoli²

1 College of Environmental Science and Engineering South China University of Technology Guangzhou 510006

2 College of Civil and Transportation Engineering South China University of Technology, Guangzhou 510641

Received 3 June 2008 received in revised form 19 October 2008, accepted 17 February 2009

Abstract In order to address the bias brought by traditional methods for spatial allocation of mobile source emission inventories into grid cells, a new approach named “standard road length” is proposed in this study. The new approach makes use of the GIS-based road network information and traffic flows to help allocate the mobile source emission inventory into the grid cells. The approach was demonstrated by the spatial allocation of the regional mobile source emission inventories in the Pearl River Delta (PRD). The results show that spatial distributions of emissions from mobile sources using the new approach are consistent with distributions of regional road network systems. The consistency implies that the new approach is promising in reducing spatial bias in spatial allocation of emissions, especially as the grid cell size decreases.

Keywords motor emission source; standard road length; spatial allocation; traffic flow; GIS

1 引言 (Introduction)

随着城市化和工业化进程的加快, 机动车保有量不断增加, 代表机动车污染特征的 NO_x 和 O_3 浓度频繁超标, 机动车污染物的排放和浓度分担率逐年上升 (霍红, 2005). 虽然不同城市和地区的机动车

贡献率有所差异, 但总体上, 机动车对大气污染物的排放逐步加剧, 浓度分担率已达 1/3~1/2 甚至更高 (郝吉明, 2001). 机动车污染已成为城市或区域大气污染的重要来源, 是影响空气质量的主要因素之一 (谢绍东等, 2000).

目前, 国内对机动车的排放研究多集中在排放

基金项目: “十一五”国家高技术研究发展计划 (863) (No. 2006AA06A305)

Supported by the National High Technology Research and Development Program of China (863) (No. 2006AA06A305)

作者简介: 郑君瑜 (1968-), 男, 副教授 (博士), E-mail: zhengjunyu@gmail.com; * 通讯作者 (责任作者)

Biography: ZHENG Junyu (1968-), male, associate professor (Ph. D.), E-mail: zhengjunyu@gmail.com; * Corresponding author

清单上(郝吉明等, 2000; 2001; 吴焯等, 2002; 王海鲲等, 2006; 谢绍东等, 2006), 其所得结果虽有助于管理者了解城市或地区的机动车排放总量; 但由于缺乏对清单地理分布和排放强度的研究, 因此, 清单的空间分配识别性不高, 难以为决策者提供全局的、客观的、立体的机动车污染排放信息, 同时也无法满足空气质量模拟和控制策略评估的数据需求. 国内针对机动车污染空间分配的报道较少, 传统的机动车污染排放空间分配多采用空间插值和参数替代(张强, 2005; Streets *et al.*, 2003)等方法, 但得到的空间分配结果与实际的路网有一定偏差, 甚至出现荒漠或者人口密集但道路较少的地区被分配了较大份额的机动车污染排放量的情况. 无论是从提高空气质量模拟结果准确性的技术层面上, 还是从机动车控制策略制定的决策层面上, 都需要更准确、更高精度的机动车污染物空间排放信息. 随着空间地理信息处理技术(Geographical Information System)的日益成熟, 人们开始引入地理信息化的道路系统对机动车排污进行空间分配. 这种分配方法能保证分配结果落于机动车空间排放源范围之内, 并且可以通过提高道路系统的地理信息化精度使机动车污染排放空间分配结果达到更高的分辨率. 近年来, 美国开发了基于道路系统的机动车污染排放空间分配方法, 但由于其分配思路基于美国的道路信息系统——Tiger Files(Kinnee, 2008), 故其在中国的应用有较大的局限性.

本研究中对分析传统机动车污染排放空间分配方法的基础上, 结合我国实际情况, 提出基于交通流量和路网的区域机动车污染物排放量空间分配方法. 采用实际路网信息为分配基底, 以交通流量为基础的“标准道路长度”转换体系, 利用GIS技术进行路网信息读取和污染物空间分配. 并通过该方法在珠三角地区的应用及与传统方法空间分配结果的比较, 展示该方法的实际适用性, 以期提供新的研究方法和思路, 为区域空气质量模型模拟提供高精度的机动车污染源空间分配数据, 也为空气污染控制策略的决策者提供空间化的污染物排放信息.

2 方法 (Methods)

2.1 标准道路长度的转换

根据中国现行的《公路工程技术标准》(JTJ001-1997), 公路按使用任务、功能和交通量分为高速公路、一级公路、二级公路、三级公路、四级公路 5 个等

级, 不同的道路对应的设计通车能力不同. 在实际中, 不同等级道路的实际交通流量往往存在着很大的差异, 即使同一等级不同路段(如市区内和市区外)之间也可能差别较大, 这给计算路网污染物排放强度带来了一定的困难.

针对这种情况, 本研究提出了“标准道路长度”转换体系, 主要包括标准道路长度、道路折算系数 2 个思想. 标准道路长度的提出基于这样一种概念: 假设存在这样一条虚拟道路, 该道路的单位长度计为单位标准道路长度, 其交通流量定义为标准交通流量(以标准车). 而道路折算系数指的是将不同类型道路的实际长度转化为标准道路长度的折算系数, 其大小是对应类型的道路实际交通流量和标准交通流量的比值. 计算方法如下(假设以城市为子研究单元, 不同等级道路分为市区内和市区外 2 种路段, 下同):

$$UW_{ik} = \frac{UTF_{ik}}{SIF}; RW_{ik} = \frac{RTF_{ik}}{SIF} \quad (1)$$

式中, i 为区域内编号为 i 的城市; k 为 i 城市第 k 级道路类型(等级道路中的第 k 级); UW_{ik} 为 i 城市第 k 级道路类型市区内的路段道路折算系数 ($\text{km} \cdot \text{km}^{-1}$); UTF_{ik} 为 i 城市第 k 级道路类型市区内路段的交通流量(辆标准车); SIF 为标准交通流量, 为自定义常量(辆标准车); RW_{ik} 为 i 城市第 k 级道路类型市区外道路折算系数 ($\text{km} \cdot \text{km}^{-1}$); RTF_{ik} 为 i 城市第 k 级道路类型市区外道路的交通流量(辆标准车).

2.2 基于“标准道路长度”的空间分配方法

基于上述定义的“标准道路长度”转换体系, 本研究建立了如图 1 所示的区域机动车污染排放物空间分配方法.

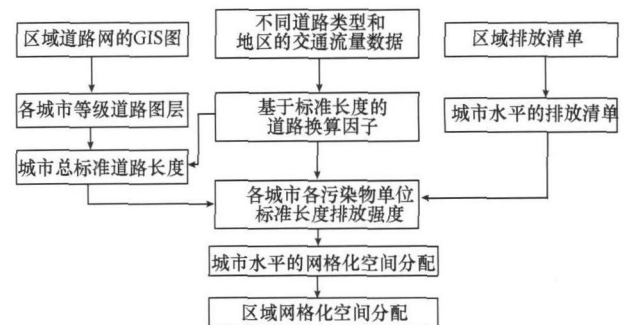


图 1 区域机动车污染排放空间分配思路

Fig. 1 Flow chart for spatial allocation of regional mobile sources into grid cells

首先, 利用 GIS 技术界定研究区域的地理范围, 确定研究所需的地理分辨率. 然后, 根据机动车排放清单的翔实程度和交通繁忙情况将研究区域分为若干个研究单元 (可根据研究需要将研究单元分为城市、行政区县、城区、郊区或乡镇区域等), 计算出各单元的机动车污染排放清单, 并利用 GIS 系统解析出各单元不同等级的道路图层.

在“标准道路长度”转换体系下, 按照道路交通流量数据, 对各单元内各等级道路进行标准道路长度换算. 通过各单元排放清单和折算的总标准道路长度, 计算出各单元单位标准道路长度的排放强度. 利用该排放强度和标准换算体系, 计算出各单元不同等级道路图层的排放强度, 将网格内所有等级道路的排放强度进行矢量叠加, 以得到该研究单元的网格化污染排放清单. 最后对各单元的空间化结果进行边界整合, 得到研究区域的机动车污染空间排放清单.

2.3 总标准道路长度和标准排放强度计算

受现有机动车保有量统计方式的影响, 现有的机动车排放清单往往以城市为单元进行估算, 而机动车污染排放的空间分配结果往往要求基于道路的排放强度. 因此, 利用行政区的道路信息及“标准道路长度”转换体系, 可计算得出城市的总标准长度, 然后根据城市排放清单计算基于道路的标准排放强度. 该过程可分为城市总标准道路长度计算和标准排放强度计算 2 个步骤.

首先, 读取每个城市路网信息, 统计城市中每个等级道路的实际道路总长度, 利用“标准道路长度”转换体系将各个等级道路的实际总长度转化为标准道路长度, 进而得到城市总标准道路长度. 考虑到城市中同一等级道路位于不同地理位置的路段流量的差异, 将同一等级道路细分为不同的路段进行污染物时空分配研究, 本研究中取市区和市外 2 个路段为例进行说明. 计算方法如下:

$$TSL_i = \sum_{k=1}^m UL_{i,k} \cdot UW_{i,k} + \sum_{k=1}^n RL_{i,k} \cdot RW_{i,k} \quad (2)$$

式中, TSL_i 为区域内 i 城市的道路总标准道路长度 (km); m 为 i 城市中位于市区的道路类型的总个数; $UL_{i,k}$ 为 i 城市第 k 级道路类型位于市区内道路的实际道路长度 (km); n 为 i 城市中位于市区外的道路类型的总个数; $RL_{i,k}$ 为 i 城市第 k 级道路类型位于市外的道路的实际道路长度 (km); $RW_{i,k}$ 为

城市位于市区外的第 k 种类型道路道路折算系数 ($\text{km} \cdot \text{km}^{-1}$); 其它参数同上.

利用式中计算的总标准道路长度, 以及城市机动车排放总量可以得出各个城市单位标准道路长度机动车污染排放强度, 即标准排放强度. 计算方法如下:

$$SEI_i = \frac{MEI_i}{TSL_i} \quad (3)$$

式中, SEI_i 为 i 城市单位标准道路长度机动车污染排放强度 ($\text{t} \cdot \text{km}^{-1}$); MEI_i 为 i 城市机动车排放总量 (t); 其它参数同上.

2.4 基于网格的排放量计算

2.4.1 城市内网格排放量的计算方法 对于落于城市内的网格, 因其路网信息为其所在城市路网的一部分, 故网格内单位标准道路长度排放强度与城市单位标准道路长度排放强度一致. 可用城市标准排放强度和网格内道路长度来计算每个网格的排放强度. 具体计算方法如下:

$$GSL_j = \sum_{k=1}^m UL_{j,i,k} \cdot UW_{j,i,k} + \sum_{k=1}^n RL_{j,i,k} \cdot RW_{j,i,k} \quad (4)$$

式中, GSL_j 为区域内 j 网格内总标准道路长度 (km); j 为区域内编号为 j 的网格; k 为 i 城市落在 j 网格内的第 k 级道路类型; m 为 i 城市落在 j 网格内的城区道路类型总个数; $UL_{j,i,k}$ 为 i 城市落在 j 网格内第 k 级道路类型的城区道路实际长度 (km); $UW_{j,i,k}$ 为 i 城市落在 j 网格内的第 k 级道路类型城区道路折算系数 ($\text{km} \cdot \text{km}^{-1}$); n 为 i 城市落在第 j 个网格内的市外类型总个数; $RL_{j,i,k}$ 为 i 城市落在 j 网格内第 k 级道路类型的市外道路实际长度 (km); $RW_{j,i,k}$ 为 i 城市落在 j 网格内的第 k 级道路类型的市外道路折算系数 ($\text{km} \cdot \text{km}^{-1}$).

根据公式 (4) 得到的网格内总标准道路长度以及网格所属城市的单位标准道路长度机动车污染排放强度, 即可算出网格内的机动车污染排放强度, 计算方法如下:

$$GEI_j = GSL_{j,i} \cdot SEI_i \quad (5)$$

式中, GEI_j 为区域内 j 网格的机动车污染排放强度 (t); $GSL_{j,i}$ 为区域内 j 网格内道路总标准道路长度 (km); SEI_i 为 i 城市单位标准道路长度机动车污染排放强度 ($\text{t} \cdot \text{km}^{-1}$).

2.4.2 城市交界处网格排放量的计算方法 对于处于城市间交界处的网格, 其排放强度的计算思路

与普通网格基本一致, 但因其路网信息往往涉及多个城市, 因而网格排放强度的计算较落于城市内的网格复杂。

首先, 在网格内提取各城市的路网信息, 根据公式 (6) 计算出各城市位于网格内的道路标准道路长度; 然后, 对不同城市的道路施以对应城市的单位标准道路长度排放强度, 计算网格内各部分路网机动车排放量, 将各部分路网排放量叠加起来即可得到处于多个城市交界处网格的机动车污染排放强度。计算方法见公式 (7)。

$$BGSL_{ji} = \sum_{k=1}^m UL_{j,ik} \cdot UW_{jik} + \sum_{k=1}^n RL_{j,ik} \cdot RW_{jik} \quad (6)$$

式中, $BGSL_j$ 为区域内 j 网格内道路的总标准道路长度 (km); 其余参数同上。

$$BGEI_j = \sum_{i=1}^m BGSL_{ji} \cdot SEI_i \quad (7)$$

式中, $BGEI_j$ 为区域内位于边界位置的 j 网格机动车污染排放强度 (t); m 为 j 网格内交界的城市个数; 其它参数同上。

3 珠三角区域机动车污染排放空间分配 (Case study spatial allocation of mobile source inventories in the Pearl River Delta)

本研究中以 2004 年珠江三角洲地区机动车排放清单为基础, 应用本文提出的方法对珠三角地区机动车污染物排放量进行空间分配。

珠三角由广东省的 9 个地市组成, 其中包括广州、深圳、佛山、东莞、珠海、江门、中山、肇庆 (端州、鼎湖、高要和四会) 和惠州 (惠城、惠阳、惠东和博罗)。该地区高度聚集的产业、蓬勃发展的乡镇企业以及迅猛增加的交通工具, 使得珠三角地区的大气环境问题日益严重和突出 (GPWER, 2005), 尤其是机动车排污分担率的增加使得该地区呈现出典型的大气复合污染特征 (冯业荣等, 2007)。从 20 世纪 90 年代起, 珠三角地区开始致力于排放清单的编制, 香港特别行政区环保署和广东环保局、美国 Argonne 实验室、北京大学等政府和研究机构都对珠三角地区的机动车排放清单进行了研究 (HKSPA, 2002 Streets *et al.*, 2006 Wang *et al.*, 2005 宋翔宇等, 2006 马因韬, 2006), 这些清单从总量上反映了珠三角机动车污染排放情况, 但由于缺乏对于污染源空间分配方面的研究, 故无法反映污染源的空间排放强度分布情况, 不能提供空气质量模拟所需的

排放源格式要求。

3.1 研究区域和对象

本研究中机动车污染排放空间分配估算区域为北纬 $112^{\circ}48' \sim 113^{\circ}58'$, 东经 $111^{\circ}58' \sim 115^{\circ}26'$, 覆盖了整个珠三角地区。用 12km 和 4km 两种分辨率对珠三角机动车污染排放进行空间分配。研究对象为机动车排放的 CO 、 NO_x 、 VOC 和 PM_{10} 。

机动车清单数据取自北京大学马因韬等 (2006) 的珠三角地区机动车污染排放估算结果和粤港联合编制清单中的机动车部分。其中, CO 、 NO_x 和 VOC 排放数据采用马因韬等 (2006) 利用 MOBILE6.2 模型对珠三角地区机动车污染的估算结果; PM_{10} 排放数据由粤港清单中的机动车排放因子和相应年份机动车保有量水平估算得到。清单估算结果见表 1, 珠江三角洲路网信息见图 2。

表 1 2004 年珠江三角洲各市污染物排放量
Table 1 Emissions of each city of the PRD in 2004

| 城市 | NO_x / t | PM_{10} / t | CO / t | VOC / t |
|----|------------|---------------|----------|-----------|
| 广州 | 52920 | 26706 | 543040 | 84770 |
| 深圳 | 20270 | 18694 | 207950 | 32460 |
| 东莞 | 31030 | 14228 | 318340 | 49700 |
| 佛山 | 49800 | 19476 | 510960 | 79770 |
| 惠州 | 16240 | 4969 | 166590 | 26010 |
| 江门 | 34240 | 8684 | 351310 | 54840 |
| 肇庆 | 16100 | 3972 | 165180 | 25790 |
| 中山 | 15280 | 7300 | 156790 | 24480 |
| 珠海 | 4480 | 3144 | 46020 | 7180 |
| 汇总 | 240360 | 107173 | 2466180 | 385000 |

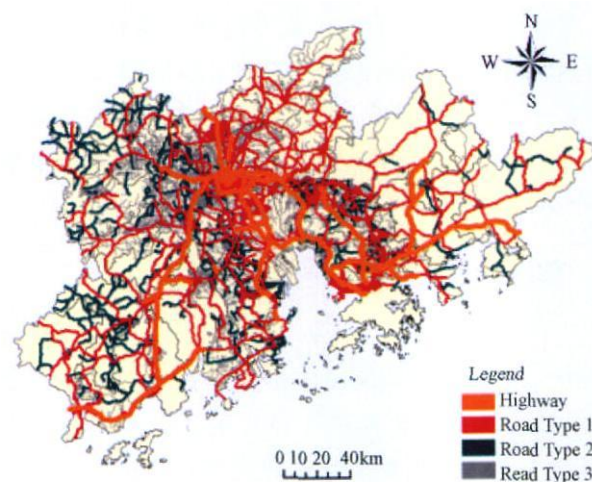


图 2 珠三角地区路网信息图

Fig. 2 PRD regional transportation road system

3.2 空间分配结果与分析

以 2004年珠三角机动车污染排放清单为基础, 应用本研究中提出的方法对珠三角地区机动车排放的 CO、NO_x、VOC、PM₁₀ 4种污染物进行空间分

配, 结果见图 3 为了比较本方法与传统方法(人口密度法)分配结果的差别, 图 4列出了 2种方法得到的 CO 空间分配结果.

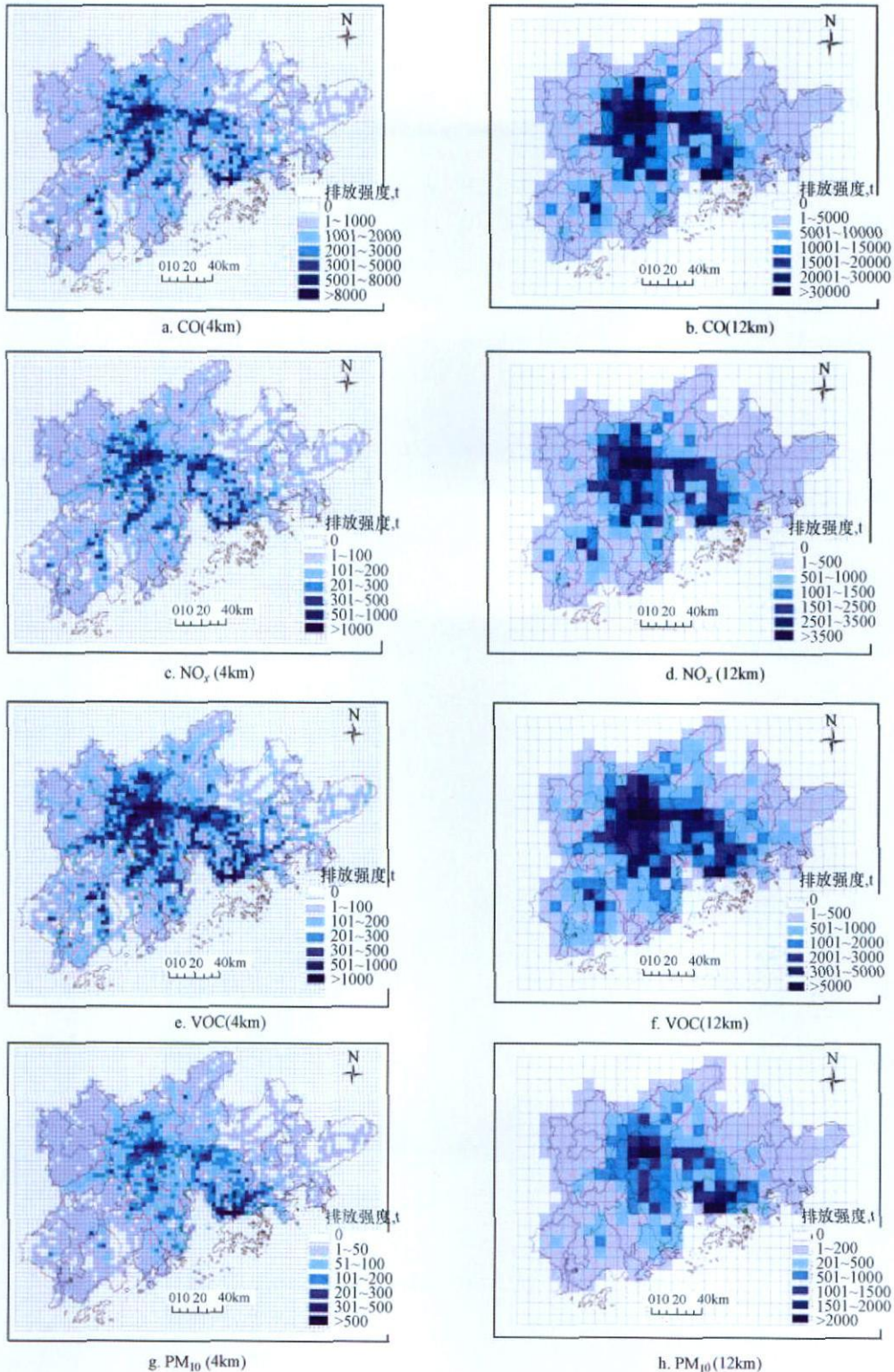


图 3 2004年珠三角地区机动车排放 CO、NO_x、VOC 和 PM₁₀ 空间分配图 (4km 和 12km)

Fig 3 Maps of grid emissions of CO, NO_x, VOC and PM₁₀ in the PRD in 2004 (4km and 12km)

由 2004年珠三角机动车污染排放空间结果可见: 珠三角机动车污染排放地域性分布特征明显. 由图 3可以看出, 珠三角地区机动车污染排在空间上呈现出明显的地区性特征. 各种污染物在不同分辨率下 (4km 和 12km) 呈现出一致的空间地理分布趋势, 即机动车污染排放在地域上形成以广州、深圳为中心的城市污染带, 高污染排放集中在机动车保有量大、路网密集、交通流量大的广州、深圳、佛山和东莞等城市. 此外, 各种机动车污染物在江门市也显示出一定的空间排放水平, 其它城市的网格排放强度均相对较低, 低于平均排放水平. 这表明, 在珠三角地区机动车污染已经呈现出显著的城市群集中现象, 存在着明显的地域排放特征.

珠三角机动车污染排放网状分布与分辨率相关. 如图 3所示, 在实际的应用中, 机动车污染排放的网状分布特征和所取分辨率的大小有关. 当所取分辨率较低时, 每个网格所涵盖的道路较多, 机动车污染排放路网分布特征不明显; 当所取分辨率较高时, 机动车污染排放呈现出明显的条状分布, 且污染物的高污染排放空间分布情况与珠三角地区主干路的分布情况吻合较好, 高排放地域集中在交通量大的市内和城际间高速路和主干路上, 更切合机动车污染物的实际空间排放特征. 而且在路网信息能够满足本方法要求的前提下, 所取分辨率越高, 机动车空间分配结果越接近实际排放情况.

本方法空间分配结果更能反映实际排放情况.

图 4显示了应用人口密度方法和本研究方法对机动车污染物排放的空间分配结果 (以 CO 为例). 从图中可以看出, 人口密度分配结果中大部分排放量集中在人口密集的居住区, 而在主干道和高速路等交通流量大但人口密度较低的地方分布较少. 虽然高密度人口聚集区交通流量和路网密集程度通常较高, 机动车污染排放量相对较大, 但这种分配方法忽略了人口聚集程度不高但交通量大的地区, 如城际高速路、主干道等. 这种方法较适用于路网信息缺乏、空间分配精度要求不高的情况, 可以保证将机动车污染排放分配到有人存在的地方, 而不会将分配量分配到沙漠、沼泽等无人区, 但在空间分配精度要求提高时可能会出现较大的偏差, 因为人口分布和路网分布不是完全吻合的. 本研究方法的空间分配结果显示, 机动车排放量从居住中心向城际主干道和主干道的分散, 虽然排放量的最高区域仍处于人口密集区, 但相比较人口密度分配结果, 本方法分配结果在空间上更能体现道路分布的延展性, 更接近实际路网的污染排放情况. 由于这种空间分配方法基于交通流量和路网信息, 本研究方法空间分配精度取决于路网信息和交通流量信息的准确性和翔实程度. 因而在这两方面信息能够满足分配要求的前提下, 本分配方法可以满足多尺度的空间分配精度要求, 且在精度提高时能够保证空间分配结果合理.

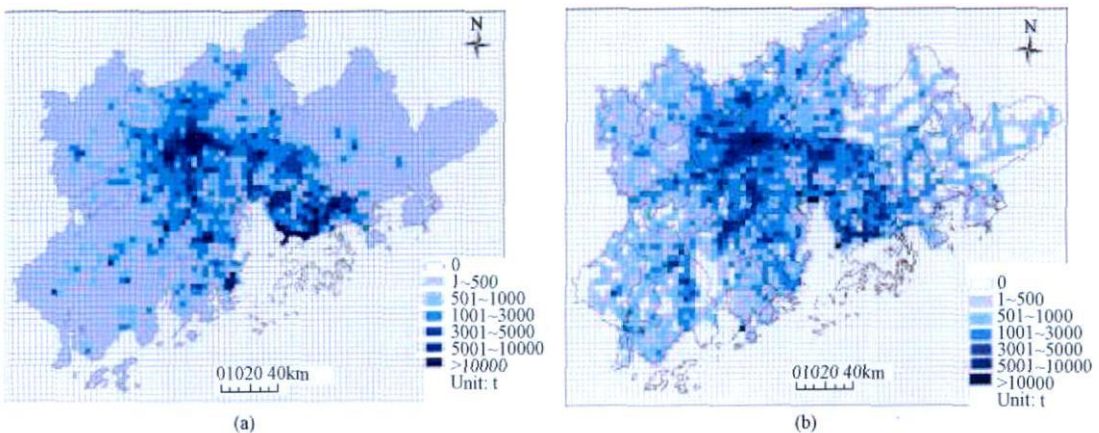


图 4 CO人口分配图 (a)和道路分配图 (b)对比

Fig 4 Population-based (a) and Road-based (b) CO annual distribution (PRD)

4 结论 (Conclusions)

1) 构建了以实际路网和“标准道路长度”为核

心的机动车污染排放空间分配方法, 该方法以实际道路网络为机动车污染排放的分配基底, 采用“标准道路长度”转换体系解决了不同等级道路进行机

动车污染空间分配时的不均衡问题, 并利用 GIS 技术完成整个方法体系的空间分配过程. 与传统方法相比, 该方法在不同的网格分辨率下均能较为准确地反映机动车污染物排放的空间分布特征.

2) 实例研究结果表明, 珠三角地区机动车污染排放集中分布在经济发达、路网密集、交通流量大的城市和地区, 并呈现出明显条状空间分布特征. 其中广州、佛山、东莞和深圳等经济发达地区和快速发展地区对机动车各种污染物的排放量贡献较大, 高速路和主干道是珠三角地区机动车污染排放的主要道路类型.

3) 该方法既能反映机动车污染排放空间分布的基本水平, 又能为空气质量模拟提供符合要求的排放源数据, 为研究区域和城市机动车污染空间分配和空气质量模拟提供了新的思路和方法.

4) 该方法空间分配精度取决于路网信息和交通流量信息的准确性和翔实程度. 由于所选交通流量指标易受数据可获得性的限制, 不同等级道路的交通流量差别较大, 同一等级道路不同路段的流量也有所不同, 因而如何优化路段的划分与选取, 使机动车排放的空间分配精度在可接受范围之内, 还有待进一步研究.

责任作者简介: 郑君瑜 (1968—), 男, 副教授 (博士), E-mail: zheng_juny@_gm ail com.

参考文献 (References):

冯业荣, 王安宇, 吴兑, 等. 2007 华南地区网格化在路机动车污染排放量估算与分析 [J]. 热带气象学报, 23(3): 229—236
Feng Y R, Wang A Y, Wu D, *et al*. 2007. Calculations and analysis of gridded on-road vehicle emissions over southern China [J]. Journal of Tropical Meteorology 23(3): 229—236 (in Chinese)
Guangdong Public Website of Environment Protection 2005. A review and outlook of situations in Guangdong 2004—2005 [OL]. 2007. 08
郝吉明, 傅立新, 贺克斌, 等. 2000 城市机动车排放污染控制: 国际经验分析与中国的研究成果 [M]. 北京: 中国环境科学出版社
Hao J M, Fu L X, He K B, *et al*. 2000. Vehicle emission control in Urban area—Analysis of international experience and study in China [M]. Beijing: China Environment Science Press (in Chinese)
郝吉明, 吴焯, 傅立新, 等. 2001 北京市机动车污染分担率的研究 [J]. 环境科学, 22(5): 126
Hao J M, Wu H, Fu L X, *et al*. 2001. Motor vehicle source contributions to air pollutants in Beijing [J]. Environmental Science, 22(5): 126 (in Chinese)
Hong Kong Special Administrative Government 2002. Study of Air Quality in the Pearl River Delta [R]. 2008—04—05
胡健林. 2005 珠江三角洲污染源排放清单研究 [D]. 北京: 北京大学
Hu J L. 2005. Study on emission inventories for all sources in Pearl River

Delta region [D]. Beijing: Peking University (in Chinese)
霍红. 2005. 基于交通流特征的轻型车路段排放研究 [D]. 北京: 清华大学, 3—5
Huo H. 2005. Study on links light duty vehicle emission based on traffic characteristics [D]. Beijing: Tsinghua University, 3—5 (in Chinese)
Kinnee E, Beidler A. 2008. Revised Methodology for the Spatial location of VMT and Mobile Source Emissions Data [OL]. 2008—04—11
刘欣. 2004. 珠江三角洲大气质量模拟和总量控制研究 [D]. 北京: 北京大学
Liu X. 2004. Study on air quality modeling and emission control in Pearl River Delta region [D]. Beijing: Peking University (in Chinese)
马因韬. 2007. 珠江三角洲机动车排放清单的开发及其不确定性分析 [D]. 北京: 北京大学, 57—59
Ma Y T. 2007. The compilation of vehicle emission inventory in Pearl River Delta region and its uncertainty analysis [D]. Beijing: Peking University, 57—59 (in Chinese)
宋翔宇, 谢绍东. 2006 中国机动车排放清单的建立 [J]. 环境科学, 27(6): 1041—1045
Song X Y, Xie S D. 2006. Development of vehicular emission inventory in China [J]. Environmental Science, 27(6): 1041—1045 (in Chinese)
Streets D G, Bond T C, Camichael G R, *et al*. 2003. An inventory of gaseous and primary aerosol emissions in Asia in year 2000 [J]. J Geophys Res, 108(D21): 8809
Streets D G, *et al*. 2006. Modeling study of air pollution due to the manufacture of export goods in China's Pearl River Delta [J]. Environment Science and Technology, 40: 2099—2107
王海鲲, 陈长虹, 黄成, 等. 2006 应用 IVE 模型计算上海市机动车污染物排放 [J]. 环境科学学报, 26(1): 1—9
Wang H K, Chen C H, Huang C, *et al*. 2006. Application of International Vehicle Emission Model for estimating vehicle emission in Shanghai [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 26(1): 1—9 (in Chinese)
Wang X M, Camichael G, Chen D L, *et al*. 2005. Impacts of different emission sources on air quality during March 2001 in the Pearl River Delta (PRD) region [J]. Atmospheric Environment, 39: 5227—5241
吴焯, 郝吉明, 傅立新, 等. 2002 澳门机动车排放清单 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 42(12): 1601—1604
Wu Y, Hao J M, Fu L X, *et al*. 2002. Emission inventories for mobile source in Macao [J]. Tsinghua Univ (Sci & Tech), 42(12): 1601—1604 (in Chinese)
谢绍东, 张远航, 唐孝炎. 2000. 我国城市地区机动车污染现状与趋势 [J]. 环境科学研究, 13(4): 22—25
Xie S D, Zhang Y H, Tang X Y. 2000. Current situation and trend of motor vehicle exhaust pollution in urban areas of China [J]. Research of Environmental Sciences, 13(4): 22—25 (in Chinese)
谢绍东, 宋翔宇, 申新华. 2006 应用 COPERT III 模型计算中国机动车排放因子 [J]. 环境科学, 27(3): 415—419
Xie S D, Song X Y, Shen X H. 2006. Calculating vehicular emission factor with COPERT III in China [J]. Environmental Science, 27(3): 415—419 (in Chinese)
张强. 2005. 中国区域细颗粒物排放及模拟研究 [D]. 北京: 清华大学, 104—106
Zhang Q. 2005. Study on regional fine PM emission and modeling in China [D]. Beijing: Tsinghua University, 104—106 (in Chinese)