

中国机动车排放清单的建立

宋翔宇, 谢绍东*

(北京大学环境学院环境模拟与污染控制国家联合重点实验室, 北京 100871)

摘要: 以中国 2002 年各省统计年鉴中关于机动车及道路信息的数据为基础, 并根据 COPERT III 模型计算出的 2002 年中国各省区各种机动车类型在城区、郊区和高速公路 3 种行驶工况下的排放因子, 应用 GIS 技术建立了 $40\text{km} \times 40\text{km}$ 的高空间分辨率的中国机动车排放源清单. 结果表明, 2002 年中国机动车排放 CO 、 NO_x 、 NMVOC 和 PM_{10} 的排放总量分别为 2.815×10^4 、 305×10^4 、 461×10^4 和 $111 \times 10^4\text{t}$, 主要来源于摩托车和汽油小客车的排放. 污染物排放量的空间分布显示出其排放集中于经济发达地区, 10.8%、2.2%、9.7% 和 5.3% 的国土面积分别排放了 84% 的 CO 、55% 的 NMVOC 、48% 的 NO_x 和 48% 的颗粒物, 并呈现出东部高于西部、沿海高于内地的趋势, 其中长江三角洲、珠江三角洲和京津地区的排放相对较强.

关键词: 机动车排放; 排放源清单; COPERT III 模式; CO ; NO_x ; NMVOC ; PM_{10}

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)06-1041-05

Development of Vehicular Emission Inventory in China

SONG Xiang-yu, XIE Shao-dong

(State Joint Key Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Department of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: The vehicular emission inventories with high spatial resolution of $40\text{km} \times 40\text{km}$ are developed using GIS technique based on the statistic data from yearbooks about vehicles and roads at provincial level in China for the year 2002, and on the emission factors calculated by COPERT III model for each category of vehicles in urban, rural and highway traffic. The results show that the emissions of CO , NO_x , NMVOC and PM_{10} are 28.15, 3.05, 4.61 and 1.11 million tons, respectively, principally from motorcycles and gasoline passenger cars. The emissions concentrate on the developed areas and those from 10.8%, 2.2%, 9.7% and 5.3% of country acreage account for 84% of CO , 55% of NMVOC , 48% of NO_x , 48% of PM_{10} emissions, respectively. The emissions in the east of China and coastal areas are higher than those in the west and hinterland areas. The emission source strengths in the Yangtze River Delta, the Pearl River Delta and Beijing & Tianjin area are the highest.

Key words: motor vehicles; emission inventory; COPERT III; CO ; NO_x ; NMVOC ; PM_{10}

机动车排气污染已经成为我国城市经济发展中的一个重要环境问题, 在探讨机动车排放对城市空气质量的贡献时, 机动车排放源清单是极为重要的研究内容. 为了评价区域空气质量的演变和区域间的相互影响, 必须建立区域尺度的源排放清单. 本文基于 GIS 技术和 COPERT III 模型计算的中国各个地区机动车排放因子, 建立了中国 2002 年机动车污染排放源清单及其空间分布.

1 研究方法

1.1 排放量计算

机动车排放 CO 、 NO_x 、 NMVOC 和 PM_{10} 的总量按照式 (1) 计算:

$$Q_m = \sum (P_{m,i,j} \times M_i \times EF_{m,i,j}) \quad (1)$$

式中, m 为某区域; i 为车型; j 为工况; Q_m 为第 m 区域的机动车排放量, t; $P_{m,i,j}$ 为在 m 区域第 i 车型和行驶工况为 j 的机动车保有量, 辆; M_i 为第 i 车

型的年均行驶里程, km; $EF_{m,i,j}$ 为在 m 区域第 i 车型在 j 工况下的排放因子, $\text{g}/(\text{km} \cdot \text{辆})$.

在本研究中, 车型 i 总体上分为汽油小客车、柴油小客车、大中型客车、轻型汽油货车、轻型柴油货车、中型汽油货车、中型柴油货车、重型柴油货车和摩托车共九大类, 工况 j 分为城区、郊区和高速公路 3 类; 以此为基础, 分别计算我国各省机动车污染物的排放量.

1.2 排放量分配

本研究首先计算出中国各个省级行政区的机动车污染物排放量, 为得到更高空间分辨率的排放清单, 需对这些排放量进一步分配. 由于中国民用机动车主要集中在以城市为代表的经济发达地区, 因此

收稿日期: 2005-05-09; 修订日期: 2005-08-19

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973) 项目 (2002CB211600); 国家社会公益研究专项 (2002DIB50130)

作者简介: 宋翔宇 (1979~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为大气污染控制.

* 通讯联系人, E-mail: sdxie@pku.edu.cn

本研究结合统计年鉴^[1,2]的数据,以第二产业增加值为替代变量,计算出各县的污染物排放量见式(2):

$$Q_{m,n} = \frac{N_n}{\sum_{n=1}^n N_n} Q_m \quad (2)$$

式中, n 表示 m 省下第 n 县; $Q_{m,n}$ 为 m 省 n 县机动车排放量, t ; Q_m 为 m 省排放量, t ; N_n 为第 n 县第二产业增加值, 万元。

本研究应用 GIS 软件 MapInfo 将经度/纬度投影的中国电子地图划分为 $40\text{km} \times 40\text{km}$ 的网格, 求取每个网格内各县的面积占全县面积的比例, 然后将各县的污染物排放量按上述比例分摊到每一个相

关网格上, 最后对每个网格内各县的每种污染物的排放量分别求和, 即最终得到各种污染物在各网格中的排放量。

2 参数确定

2.1 排放因子及行驶工况

基于 COPERT III模型分别计算出中国各省不同机动车类型在城区、郊区和高速公路 3 种行驶工况下的排放因子, 具体计算方法见文献[3]。由于数据量庞大, 这里仅以北京市小客车为例给出其在城区、郊区和高速公路 3 种行驶工况下的排放因子, 见表 1。

表 1 北京小客车排放因子/ $\text{g} \cdot (\text{km} \cdot \text{辆})^{-1}$
Table 1 Emission factors of passenger cars in Beijing/ $\text{g} \cdot (\text{km} \cdot \text{辆})^{-1}$

车型		城区				郊区				高速公路			
		CO	NO _x	NM VOC	PM ₁₀	CO	NO _x	NM VOC	PM ₁₀	CO	NO _x	NM VOC	PM ₁₀
汽油< 1.4 L	传统	27.03	1.56	3.61		9.09	1.69	1.91		4.50	2.26	1.29	
	欧 I	10.93	0.51	0.90		1.90	0.31	0.22		0.99	0.41	0.10	
汽油 1.4~ 2.0 L	传统	27.03	1.82	3.61		9.09	2.12	1.91		4.50	3.00	1.29	
	欧 I	11.26	0.51	0.76		2.58	0.32	0.18		1.08	0.39	0.10	
汽油> 2.0 L	传统	27.03	2.31	3.61		9.09	2.29	1.91		4.50	3.01	1.29	
	欧 I	13.45	0.63	0.87		3.84	0.43	0.27		0.51	0.43	0.17	
柴油< 2.0 L	传统	1.16	0.71	0.37	0.39	0.65	0.52	0.14	0.20	0.44	0.44	0.07	0.13
	欧 I	1.02	1.03	0.17	0.14	0.43	0.68	0.07	0.06	0.09	0.50	0.02	0.04
柴油> 2.0 L	传统	1.16	1.08	0.37	0.39	0.65	0.82	0.14	0.20	0.44	0.74	0.07	0.13
	欧 I	1.02	1.03	0.17	0.14	0.43	0.68	0.07	0.06	0.09	0.50	0.02	0.04

本研究考虑了机动车行驶的 3 种工况, 并将机动车总行驶里程进行相应的划分。如果以省内主要城市机动车保有量占全省的比例作为该省机动车在城区工况下的行驶比例, 以省内高速公路占总通车里程数的比例作为机动车在高速公路下的行驶比例, 然后以中国 2002 年各省统计年鉴中关于机动车及道路信息的数据为基础, 就可估算出各省机动车在城区、郊区和高速公路以不同工况行驶的比例。计算结果表明: ①4 个直辖市, 3 种路况行驶比例分别为 70%、10% 和 20%; ②以广州为代表, 包括山东、浙江、江苏、福建、广州、海南, 3 种路况行驶比例分别为 60%、30% 和 10%; ③以吉林为代表的东北 3 省, 3 种路况行驶比例分别为 50%、40% 和 10%; ④以青海为代表, 包括青海、甘肃、贵州、云南、西藏、陕西、新疆、内蒙古、宁夏, 3 种路况行驶比例分别为 50%、40% 和 10%; ⑤以四川为代表, 包括河北、山西、安徽、江西、河南、湖北、湖南、广西、四川, 3 种路况行驶比例分别为 40%、50% 和 10%。

由于 COPERT III模型的计算中不包括汽油车排放的 PM₁₀, 因此本研究另取“北京市大气污染控制对策研究”项目中的数据, 汽油小客车、汽油小货

车和摩托车的排放因子分别为 0.0153、0.0537 和 1.15 $\text{g}/(\text{km} \cdot \text{辆})$ 。

2.2 机动车保有量与年均行驶里程

中国各个地区机动车保有量来源于各种统计年鉴^[4~6]。因这些统计数据不区分汽油车和柴油车而且与 COPER II模型的车型划分存在差异, 因此需要对这些数据作进一步处理: ①以中国 1995~ 2002 年间柴油、汽油车销售量(1995 年以前无数据)^[4~6]数据为基础, 计算出 8a 内中国各车型销售量中柴油和汽油车的比例, 并假设该比值与中国目前在用车各基本车型中的柴油和汽油车比例相当。②根据中国 2000~ 2002 年各基本车型销售量^[6]与 2002 年保有量^[7]的比值, 计算各基本车型中分别符合欧 I 标准和传统标准的车型保有量。③假设从大、中型载客汽车总保有量中扣除公共汽车的数量^[8]就是长途客车的保有量。④从中国机动车生产销售的统计数据看^[4~6], 轿车在小型载客汽车中占有较高的比例。参照 2000~ 2002 年我国各档次轿车的销售量^[8]及中国汽车工业协会对轿车档次的排气量解释, 估算得到中国汽油机小型载客汽车中 3 种排量车型的比例分别约为 20% (< 1.4L)、70% (1.4~ 2.0L) 和

10% (> 2.0L)。

以中国 1998~ 2002 年间分类型摩托车销售量 (1998 年以前无数据)^[5,6] 数据为基础, 得到 COPERT II 模型中 4 种类型^[3] 摩托车的保有量百分比分别为 20.2%、79.3%、0.4% 和 0.2%。

中国机动车年均行驶里程按照不同车型分别为: 摩托车 $1.2 \times 10^4 \text{ km}$, 小型/微型客车 $5 \times 10^4 \text{ km}$, 大型/中型客车 $4 \times 10^4 \text{ km}$, 轻型/微型货车 $4 \times 10^4 \text{ km}$, 重型/中型货车 $3 \times 10^4 \text{ km}$ ^[9]。

3 结果与讨论

将排放因子、机动车保有量和年均行驶里程 3 个参数代入公式 (1), 计算得到表 2 和表 3 所示 2002 年中国和分省域的机动车排放 CO、NO_x、NMVOC 和 PM₁₀ 的排放清单。由表 2 可以看出, 中国 2002 年机动车排放 CO、NO_x、NMVOC 和 PM₁₀

的总量分别为 2.815×10^4 、 3.05×10^4 、 4.61×10^4 和 $1.11 \times 10^4 \text{ t}$; 对 CO、NMVOC 和 PM₁₀ 等 3 种污染物排放贡献最大的车型为摩托车, 其分担率分别为 63.86%、67.24% 和 63.16%, 汽油小客车的贡献仅次于摩托车, 分担率分别为 22.79%、18.54% 和 10.43%; 对 NO_x 排放贡献较大的车型是大中型客车、汽油小客车和重型柴油货车, 分担率分别为 36.55%、20.11% 和 16.52%。与应用 MOBILE 模型计算的我国 1995 年 CO、NO_x、NMVOC 排放量分别为 1.782×10^4 、 2.03×10^4 和 $3.26 \times 10^4 \text{ t}$ ^[10] 相比, 分别增长了 58.0%、50.2% 和 41.4%。另外, 经计算后还发现, 若不考虑我国自 2000 年起投入使用的车辆开始执行欧 I 标准, 完全采用传统标准计算上述 4 种污染物的排放量将分别增加 10%、19%、9% 和 13%。由此可见, 执行更加严格的排放标准是控制我国机动车排放量的有效手段。

表 2 中国 2002 年机动车分车型排放清单

Table 2 Vehicle typical inventories of vehicular emissions in China in 2002

污染物	项目	汽油 小客车	柴油 小客车	大中型 客车	轻型 汽油货车	轻型 柴油货车	中型 汽油货车	中型 柴油货车	重型 柴油货车	摩托车	合计
CO	排放量/t	6 414 807	30 579	316 936	1 770 543	108 069	1 240 208	164 005	129 242	17 977 528	28 151 917
	分担率/%	22.79	0.11	1.13	6.29	0.38	4.41	0.58	0.46	63.86	100
NO _x	排放量/t	612 522	29 195	1 113 262	128 883	195 407	121 404	276 251	503 006	65 679	3 045 608
	分担率/%	20.11	0.96	36.55	4.23	6.42	3.99	9.07	16.52	2.16	100
NMVOC	排放量/t	854 802	7 568	161 963	181 551	16 056	117 626	99 380	71 332	3 099 646	4 609 926
	分担率/%	18.54	0.16	3.51	3.94	0.35	2.55	2.16	1.55	67.24	100
PM ₁₀	排放量/t	116 244	8 175	61 229	102 306	23 615	32 856	29 465	36 838	704 192	1 114 918
	分担率/%	10.43	0.73	5.49	9.18	2.12	2.95	2.64	3.30	63.16	100

表 3 给出了中国 2002 年各省机动车排放清单。由表 3 可以看出, CO 排放量最高的 5 个省份依次是广东、山东、江苏、河北和浙江, 5 省排放量占全国总排放的 46.6%, 其中仅广东 1 省就占全国总排放的 14.4%, 比山东高出了 32.6%; NO_x 排放量最高的省份是广东、浙江、山东、河北和河南, 5 省排放量占全国总排放的 37.4%, 广东 1 省占全国总排放的 11.3%, 比浙江高出了 36.3%; NMVOC 排放量最高的 5 个省份依次是广东、山东、江苏、河北和浙江, 5 省排放量占全国总排放的 48.2%, 其中广东占了 15.2% 并比山东多了 36.1%; PM₁₀ 排放量最高的 5 个省是广东、河南、浙江、河北和江苏, 占全国总排放的 41.8%, 其中广东占了 12.6%, 比河南高 35.5%。总体上讲, 以上提到的省份是机动车污染排放较高的省份, 其中广东省各种污染物的排放都位居全国第一。

各省机动车排放污染物贡献最大的车型及其贡献比例见图 1。由图 1 可见, ①对 CO 排放贡献最大

的是摩托车和汽油小客车, 其中摩托车贡献率超过 60% 的省份有 17 个, 而汽油小客车则仅有北京一个, 另外轻型和中型汽油货车也有一定的贡献; ② NO_x 的排放贡献最大的是大中型客车, 其次是其他各种柴油车辆, 汽油小客车也有不小的贡献, 各个省份都在 20% 左右; ③ NMVOC 排放贡献最大的是摩托车, 其贡献超过 60% 的省份有 17 个, 并有 5 个省份的贡献超过了 80%, 其次是汽油小客车; ④ PM₁₀ 的排放贡献最大的车型是摩托车和汽油小客车, 而大中型客车和中型以上柴油货车在柴油车 PM 排放中占有较大比例。由这些数据可见, 由于不同污染物排放特征和各省机动车保有量中车型的差异, 各省在控制机动车排放时其控制重点也有所不同。

图 2 给出了本研究获得的我国机动车排放 CO、NO_x、NMVOCs 和 PM₁₀ 排放强度的空间分布。由图 2 可以看出, 中国机动车污染物的排放总体上是东部高于西部, 沿海高于内地, 排放量较高的区域主要有华北地区、各沿海省份及东北 3 省和四川盆地, 其中

表 3 中国 2002 年机动车分省排放清单¹⁾/t

Table 3 Provincial inventories of vehicular emissions in China in 2002/t

省区	CO	NO _x	NM VOC	PM ₁₀	省区	CO	NO _x	NM VOC	PM ₁₀
北京	931 434	147 573	130 352	16 209	湖北	940 412	93 497	154 410	37 833
天津	395 238	51 511	57 682	7 933	湖南	668 093	84 418	110 840	27 824
河北	1 815 759	176 603	302 712	66 851	广东	4 053 170	342 248	699 092	140 683
山西	628 737	105 208	98 169	22 415	广西	925 802	56 783	159 379	44 514
内蒙古	489 875	68 584	73 602	21 342	海南	280 260	17 984	49 902	17 837
辽宁	837 418	116 397	122 023	27 229	重庆	221 335	41 323	37 064	10 563
吉林	612 563	66 825	87 899	18 357	四川	1 157 855	115 529	179 252	44 319
黑龙江	521 369	95 928	70 585	25 431	贵州	224 970	40 702	32 988	11 006
上海	621 410	98 598	102 231	18 890	云南	703 329	92 001	103 495	19 360
江苏	2 521 264	161 902	420 602	103 798	西藏	34 923	13 314	5 573	5 716
浙江	1 674 112	253 277	286 985	56 945	陕西	528 208	100 955	92 945	30 502
安徽	664 144	80 975	109 056	36 347	甘肃	194 656	38 875	29 089	11 722
福建	1 005 233	63 245	173 603	50 363	青海	78 403	15 069	11 436	6 909
江西	569 552	54 526	96 633	33 684	宁夏	131 192	15 926	20 647	32 526
山东	3 056 470	195 953	513 742	97 987	新疆	393 643	71 624	59 291	13 698
河南	1 271 090	168 254	218 647	56 128	合计	28 151 917	3 045 608	4 609 926	1 114 918

1) 台湾省资料暂缺, 下同

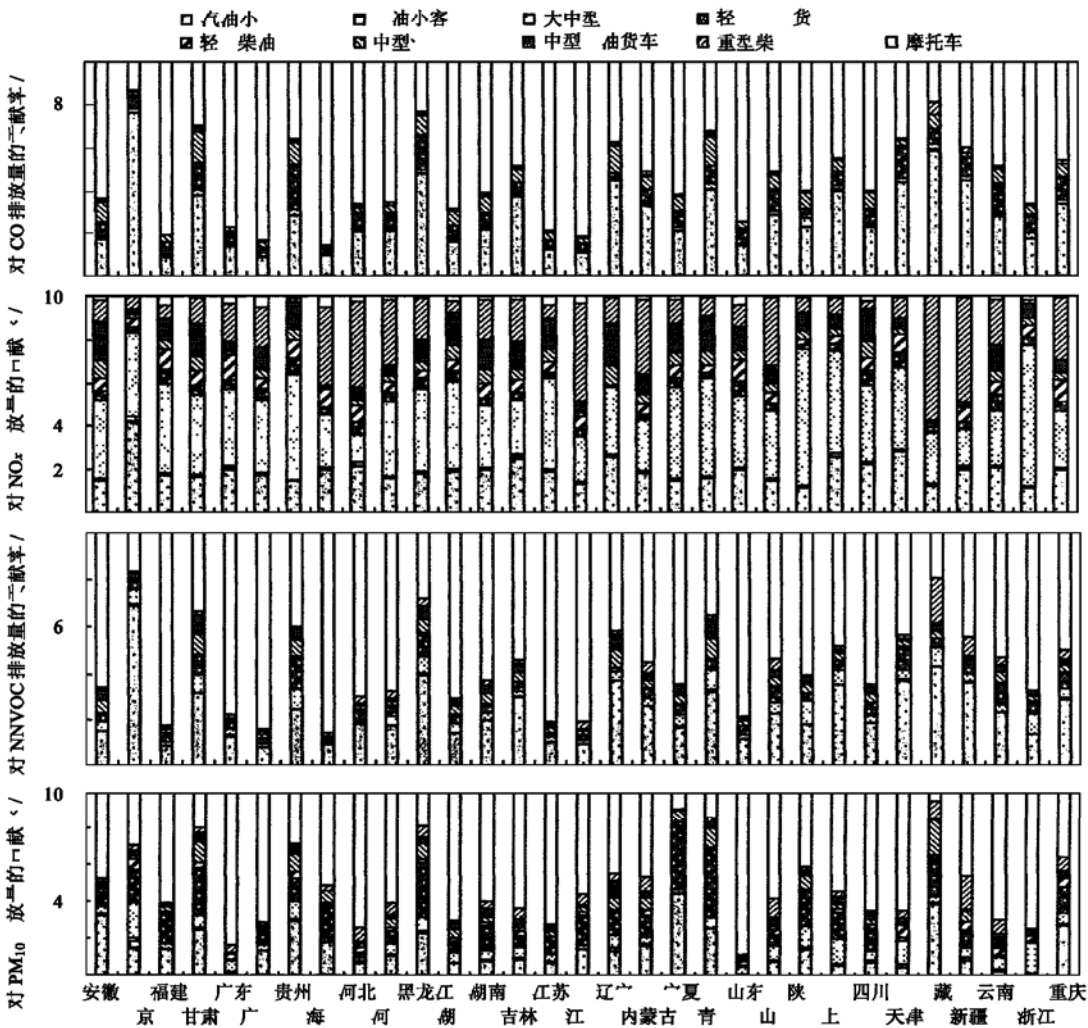


图 1 中国机动车车型对污染物排放的贡献

Fig. 1 Contribution of vehicle type to the emissions

又以长江三角洲、珠江三角洲和京津地区的排放最为突出,这种分布状况与我国经济发展的区域间不平衡是密不可分的.由于本研究采用第2产业增加值作为空间分布的替代变量,因此排放集中的地区主要为城市和经济发达地区,经分析认为这样的分布状况与我国的实际情况是比较吻合的.统计结果发现,CO 和 NMVOC 的排放主要集中在排放量超

过万吨的网格,占总国土面积 10.8% 和 2.2% 的这些网格共排放了占全国总量 84% 的 CO 和 55% 的 NMVOC; NO_x 和 PM_{10} 排放比较集中的网格范围是 1 000~ 10 000t, 这个范围内的网格分别排放了占全国总量 48% 的 NO_x 和 PM_{10} , 但其所占的国土面积却分别为 9.7% 和 5.3%. 这些说明中国机动车污染物排放量集中, 个别地方排放强度大.

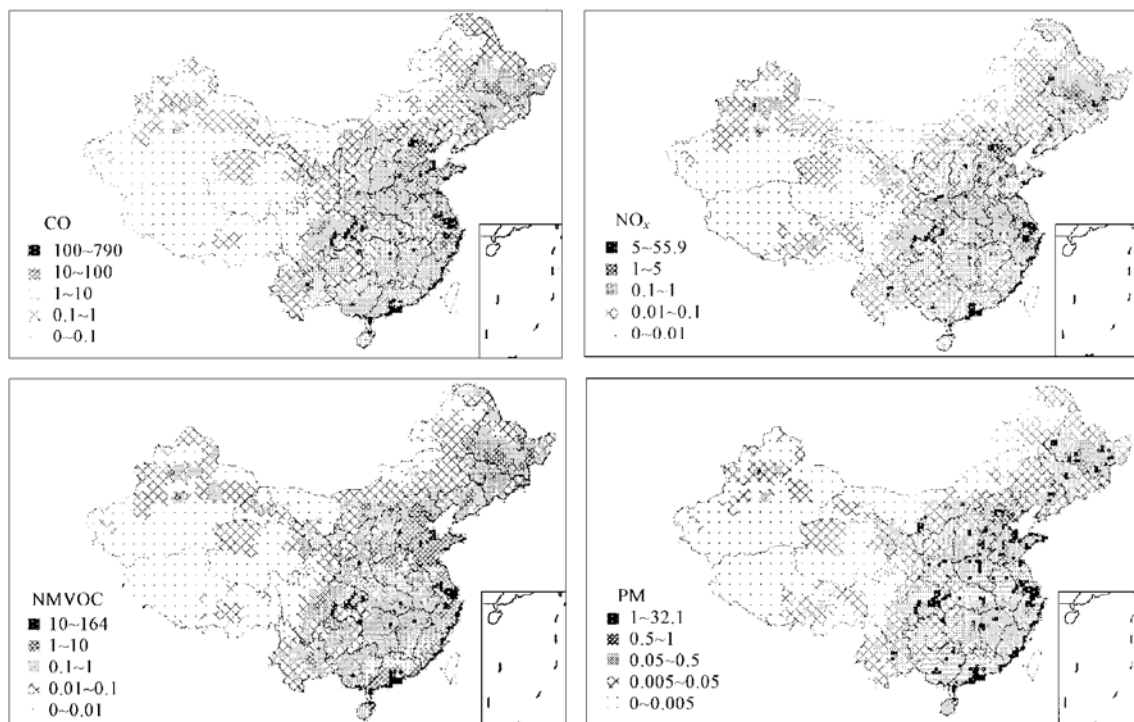


图 2 我国 2002 年机动车污染物的空间分布 [$\text{t}/(\text{a} \cdot \text{km}^2)$]

Fig. 2 Spatial distribution of pollutant of motor vehicles in China in 2002 [$\text{t}/(\text{a} \cdot \text{km}^2)$]

4 结论

基于 GIS 系统建立了中国 2002 年 $40\text{km} \times 40\text{km}$ 的高分辨率的机动车排放 CO、 NO_x 、NMVOC 和 PM_{10} 的污染源清单. 结果表明, 2002 年中国机动车排放 CO、 NO_x 、NMVOC 和 PM_{10} 的排放总量分别为 2.815×10^4 、 3.05×10^4 、 4.61×10^4 和 $1.11 \times 10^4 \text{t}$, 主要来源于摩托车和汽油小客车的排放. 污染物排放量的空间分布规律上与我国经济发展状况相似, 东部经济发达地区高于西部落后地区, 其中长江三角洲、珠江三角洲和京津地区为主要排放源. 10.8%、2.2%、9.7% 和 5.3% 的国土面积分别排放了 84% 的 CO、55% 的 NMVOC、48% 的 NO_x 和 48% 的颗粒物, 可见中国机动车排放的显著特征是排放量集中, 个别地区的排放强度相当大.

参考文献:

- [1] 国家统计局农村社会经济调查总队. 中国县(市)社会经济统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2003. 3~ 521.
- [2] 国家统计局城市社会经济调查总队. 中国城市统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2003. 123~ 138.
- [3] 谢绍东, 宋翔宇, 申新华. 应用 COPERT II 模型计算中国机动车排放因子[J]. 环境科学, 2006, 27(3): 415~ 419.
- [4] 机械工业部汽车工业司, 等. 中国汽车工业年鉴[M]. 长春: 中国汽车工业年鉴编辑部, 1996~ 1997.
- [5] 中国汽车工业年鉴编辑部. 中国汽车工业年鉴[M]. 长春: 中国汽车工业年鉴编辑部, 1998~ 2000.
- [6] 中国汽车技术研究中心, 中国汽车工业协会. 中国汽车工业年鉴[M]. 天津: 中国汽车工业年鉴编辑部, 2001~ 2003.
- [7] 中国交通年鉴社. 中国交通年鉴[M]. 北京: 中国交通年鉴社, 2003. 618~ 620.
- [8] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2003. 400.
- [9] 胡斌祥, 朱华, 等. 我国汽车技术发展模式的排放清单[J]. 武汉理工大学学报: 信息与管理工程版, 2002, 24(2): 99~ 102.
- [10] 李伟, 傅立新, 等. 中国道路机动车 10 种污染物的排放量[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(2): 36~ 38.