

典型城市机动车非常规污染物排放清单*

姚志良¹ 王岐东² 王新彤² 张英志² 申现宝² 尹航³ 贺克斌²

(1. 北京工商大学食品学院, 北京 100048; 2. 清华大学环境学院, 北京 100084;

3. 中国环境科学研究院机动车排污监控中心, 北京 100012)

摘要 以2007年为目标年, 利用IVE模型计算并建立北京市、上海市和深圳市3个典型城市的机动车1, 3-丁二烯、甲醛、乙醛、NH₃、苯、CO₂、N₂O和CH₄等非常规污染物的排放清单。结果表明, 在北京市, 对8种非常规污染物的排放贡献率最大的均为轻型客车, 排放贡献率均在50%以上; 其次主要为中重型客车, 排放贡献率为5%~26%。在上海市, 对于1, 3-丁二烯、NH₃、苯、CO₂、N₂O和CH₄的排放贡献率最大的均为轻型客车, 排放贡献率达37%~68%; 对于甲醛和乙醛的排放贡献率最大的均为摩托车, 排放贡献率分别为63.53%和54.43%。在深圳市, 对于1, 3-丁二烯、NH₃、苯、N₂O和CH₄的排放贡献率最大的均为轻型客车, 排放贡献率达48%~78%, 对于甲醛、乙醛和CO₂的排放贡献率最大的均为中重型卡车, 排放贡献率均在45%左右。利用IVE模型计算得到城市机动车的非常规污染物的排放清单, 有助于采取有效的控制措施, 为机动车非常规污染物的治理和大气污染防治提供决策依据。

关键词 机动车 非常规污染物 排放清单 典型城市

随着我国城市化进程的加快, 机动车保有量增长迅猛。2009年, 我国机动车销售量超过美国, 成为机动车第一大销售国。机动车保有量的增加使得机动车污染成为城市空气污染的主要来源, 特别是大城市的机动车污染尤为突出^[1-4]。

我国自20世纪90年代已开始对机动车污染物排放进行控制, 实行了包括汽油无铅化、新车污染物达标排放、燃油品质改善、在用车定期检测维护(I/M)制度以及黄标车淘汰等措施^[5]。在相关研究方面, 我国学者在机动车污染物排放特征、排放因子模型以及排放清单等方面都开展了较多工作, 并取得了一定的进展^[6]。但目前的研究主要集中在机动车排放的常规污染物方面, 包括CO、HC、NO_x和颗粒物(PM), 而对温室气体和有毒有害物质等非常规污染物排放的关注相对较少。而机动车排放的这些非常规污染物对人体健康和环境同样有着重要的危害^[7, 8], 因此非常有必要对机动车非常规污染物的排放展开研究。

本研究利用IVE模型, 以北京市、上海市和深圳市为例, 结合各城市机动车保有量和行驶里程等数据, 建立了3个城市机动车的非常规污染物排放清单, 以期对机动车非常规污染物的排放控制提供科学依据。

1 研究方法

1.1 IVE模型

IVE模型是由国际可持续发展研究中心(ISS-

RC)和加州大学河边分校(UCR)的研究人员开发的, 适用于发展中国家的机动车污染排放模型^[9, 10]。IVE模型的计算方法在本质上与美国环境保护署开发的流动源(MOBILE)模型类似, 即利用模型内嵌的污染物基准排放因子乘以一系列修正参数从而得到当地城市每种类型机动车的污染物排放因子。主要不同点在于MOBILE模型采用平均速度来表征车辆行驶工况对污染物排放的影响, 而IVE模型则引入比功率(VSP)和发动机负荷(ES)参数, 以排放单元(BIN)的行驶速度来表征行驶工况的影响, 更适于城市尺度的机动车污染物排放计算。IVE模型能够计算出机动车CO、挥发性有机化合物(VOC)、NO_x、PM和SO_x等常规污染物的排放量, 还能计算铅、1, 3-丁二烯、甲醛、乙醛、NH₃和苯等6种有毒物质, 以及CO₂、N₂O和CH₄等3种温室气体的排放量。本研究利用2.0.1版IVE模型计算得到2007年北京市、上海市和深圳市机动车1, 3-丁二烯、甲醛、乙醛、NH₃和苯等5种有毒有害物质的排放量, 以及CO₂、N₂O和CH₄等3种温室气体的排放量。由于我国早在2000年就已全面禁止含铅汽油的使用, 因此本研究不计算机动车的铅排放量。

1.2 计算方法

机动车非常规污染物的排放量采用式(1)进行计算, 式(1)中单位均根据实际计算确定。

$$E_j = \sum_{i=1}^5 (VP_i \times EF_j \times VKT_i) \quad (1)$$

式中: j 为污染物类型, 包括1, 3-丁二烯、甲醛、乙

第一作者: 姚志良, 男, 1980年生, 博士, 讲师, 主要从事机动车污染控制研究。

* 国家“863计划”项目(No. 2006AA06A305); 国家自然科学基金资助项目(No. 41005068)。

表 1 2007 年北京市分车型非常规污染物排放因子

g/ km

车型	轻型客车	中重型客车	轻型卡车	中重型卡车	摩托车
1, 3 丁二烯	0.006 0	0.007 0	0.011 0	0.005 0	0.017 0
甲醛	0.028	0.054	0.034	0.050	0.282
乙醛	0.011	0.017	0.012	0.018	0.071
NH ₃	0.063	0.023	0.020	0.017	0.074
苯	0.063	0.092	0.077	0.041	0.071
CO ₂	253.43	708.78	412.46	614.29	47.99
N ₂ O	0.015 0	0.031 0	0.009 0	0.018 0	0.000 1
CH ₄	0.240	0.320	0.240	0.110	0.520

表 2 2007 年上海市分车型非常规污染物排放因子

g/ km

车型	轻型客车	中重型客车	轻型卡车	中重型卡车	摩托车
1, 3 丁二烯	0.005 0	0.005 0	0.007 0	0.004 0	0.017 0
甲醛	0.023	0.043	0.022	0.040	0.282
乙醛	0.009	0.014	0.008	0.014	0.071
NH ₃	0.070	0.022	0.021	0.017	0.074
苯	0.040	0.079	0.047	0.035	0.071
CO ₂	261.92	677.97	408.85	582.08	47.99
N ₂ O	0.019 0	0.040 0	0.010 0	0.019 0	0.000 1
CH ₄	0.150	0.280	0.150	0.098	0.520

表 3 2007 年深圳市分车型非常规污染物排放因子

g/ km

车型	轻型客车	中重型客车	轻型卡车	中重型卡车	摩托车
1, 3 丁二烯	0.003 8	0.005 6	0.006 4	0.004 5	0.016 6
甲醛	0.015	0.047	0.020	0.048	0.282
乙醛	0.006	0.015	0.0073	0.017	0.071
NH ₃	0.050	0.018	0.020	0.017	0.074
苯	0.054	0.071	0.064	0.038	0.071
CO ₂	194.55	556.40	408.48	612.17	47.99
N ₂ O	0.012 0	0.017 0	0.009 0	0.012 0	0.000 1
CH ₄	0.200	0.240	0.200	0.100	0.520

醛、NH₃、苯、CO₂、N₂O和CH₄等8种污染物; E_j 为 j 污染物的排放量; i 为车型,包括轻型客车、中重型客车、轻型卡车、中重型卡车和摩托车等5种车型; VP_i 为 i 车型车辆的保有量; EF_j 为 i 车型的 j 污染物的排放因子; VKT_i 为 i 车型车辆的年均行驶里程。

1.3 数据来源

本研究中,以2007年北京市、上海市和深圳市的分车型车辆保有量、年销售量以及新注册和淘汰量等为基础数据,并结合各地新车污染物排放标准的实施情况来计算机动车非常规污染物的排放量。

本研究对各地分车型车辆的年行驶里程根据实地问卷调查和文献[11]的分析结果综合确定。2007年,北京市、上海市和深圳市的轻型客车年均行驶里程分别取22 000、28 000、24 000 km;3地中重型客车、轻型卡车、中重型卡车和摩托车的年行驶里程均分别取55 000、21 000、40 000、5 800 km。

此外,利用IVE模型计算机动车污染物排放时,还需输入行驶工况和启动信息等参数。行驶工况根

据文献[11, 12]对我国城市行驶工况的调查结果确定,启动信息参照文献[13~15]的实际调查结果。

2 结果与讨论

2.1 排放因子

首先利用IVE模型计算得到2007年北京市、上海市和深圳市分车型的非常规污染物的排放因子(见表1至表3),作为计算各城市机动车非常规污染物排放量的基础。

2.2 排放清单

基于北京市、上海市和深圳市分车型非常规污染物排放因子,结合3地分车型车辆保有量和行驶里程等数据,根据式(1)计算得到2007年各城市机动车分车型的非常规污染物排放清单。

对于北京市而言,2007年全年机动车排放1,3-丁二烯、甲醛、乙醛、NH₃、苯、CO₂、N₂O、CH₄分别为434.8、2 654.9、950.2、3 687.6、4 482.1、23 650 153.2、1 188.2、16 747.2 t,各污染物分车型的排放贡献率如图1所示。从图1可以看出,除甲醛

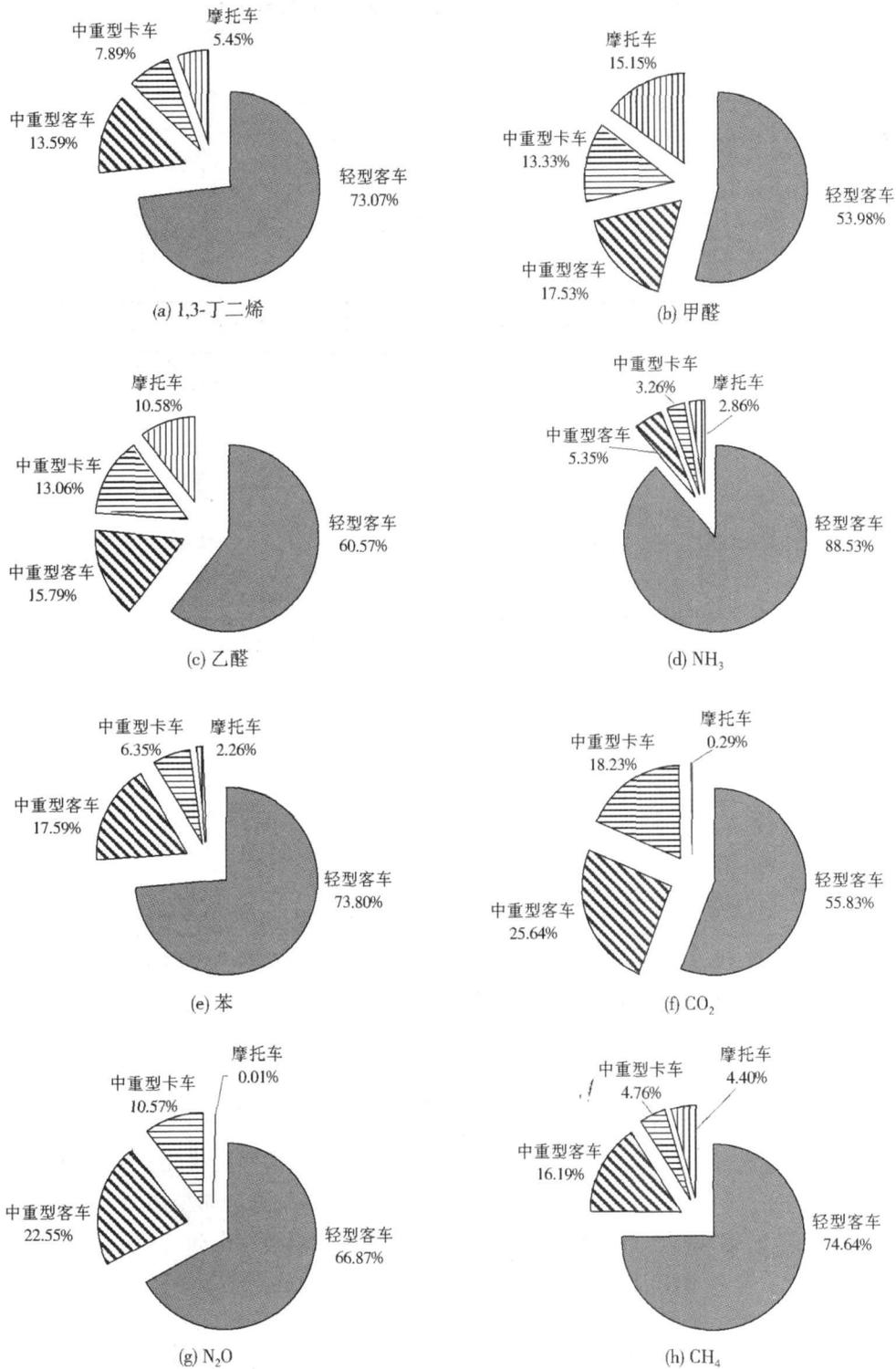


图 1 2007 年北京市机动车非常规污染物排放清单

外,对1,3-丁二烯、乙醛、NH₃、苯、CO₂、N₂O、CH₄的排放贡献率较大的均为轻型客车、中重型客车和中重型卡车,3种车型对7种污染物的排放贡献率分别为73.07%、13.59%、7.89%、60.57%、15.79%、13.06%、88.53%、5.35%、3.26%、73.80%、17.59%、6.35%、55.83%、25.64%、18.23%、66.87%、22.55%、10.57%、74.64%、16.19%、4.76%。对于甲醛的排放,

轻型客车、中重型客车和摩托车的排放贡献率较大,分别为53.98%、17.53%和15.15%。

可见,在北京市,对8种非常规污染物的排放贡献率最大的均为轻型客车,排放贡献率均在50%以上;其次主要为中重型客车,排放贡献率为5%~26%。

对于上海市而言,2007年全年机动车排放1,3-丁二烯、甲醛、乙醛、NH₃、苯、CO₂、N₂O、CH₄分

别为 311.3、3 198.7、933.4、2 534.0、2 308.7、15 985 832.8、895.9、10 056.7 t, 各污染物分车型的排放贡献率如图 2 所示。从图 2 可以看出, 对于 1,3-丁二烯、NH₃、CH₄, 轻型客车、摩托车和中重型卡车的排放贡献率较大, 3 种车型对 3 种污染物的排放贡献率分别为 39.57%、38.50%、11.57%、67.45%、21.33%、5.70%, 37.37%、36.90%、

17.71%; 对于甲醛、乙醛, 摩托车、轻型客车和中重型卡车的排放贡献较大, 3 种车型对 2 种污染物的排放贡献率分别为 63.53%、17.40%、10.09%、54.43%、23.50%、12.14%; 对于苯, 轻型客车、中重型客车和摩托车的排放贡献率较大, 分别为 43.09%、22.21%和 22.09%; 对于 CO₂, 轻型客车、中重型卡车和中重型客车的排放贡献率较大,

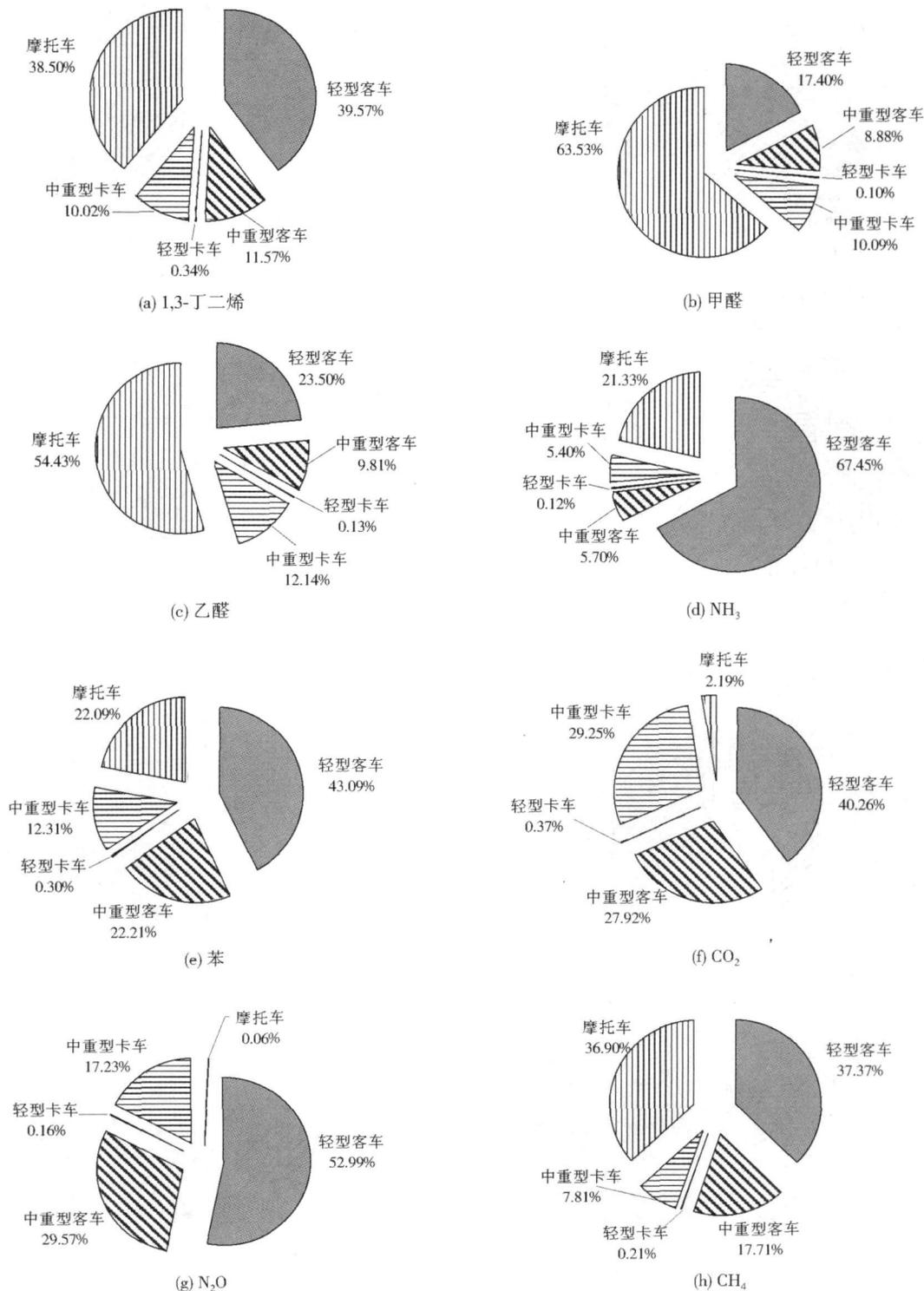


图 2 2007 年上海市机动车非常规污染物排放清单

分别为40.26%、29.25%和27.92%；对于N₂O，轻型客车、中重型客车和中重型卡车的排放贡献率较大，分别为52.99%、29.57%和17.23%。

可见，在上海市，对于1,3-丁二烯、NH₃、苯、CO₂、N₂O和CH₄的排放贡献率最大的均为轻型客

车，排放贡献率达37%~68%；对于甲醛和乙醛的排放贡献率最大的均为摩托车，排放贡献率分别为63.53%和54.43%。

对于深圳而言，2007年全年机动车排放1,3-丁二烯、甲醛、乙醛、NH₃、苯、CO₂、N₂O、CH₄分

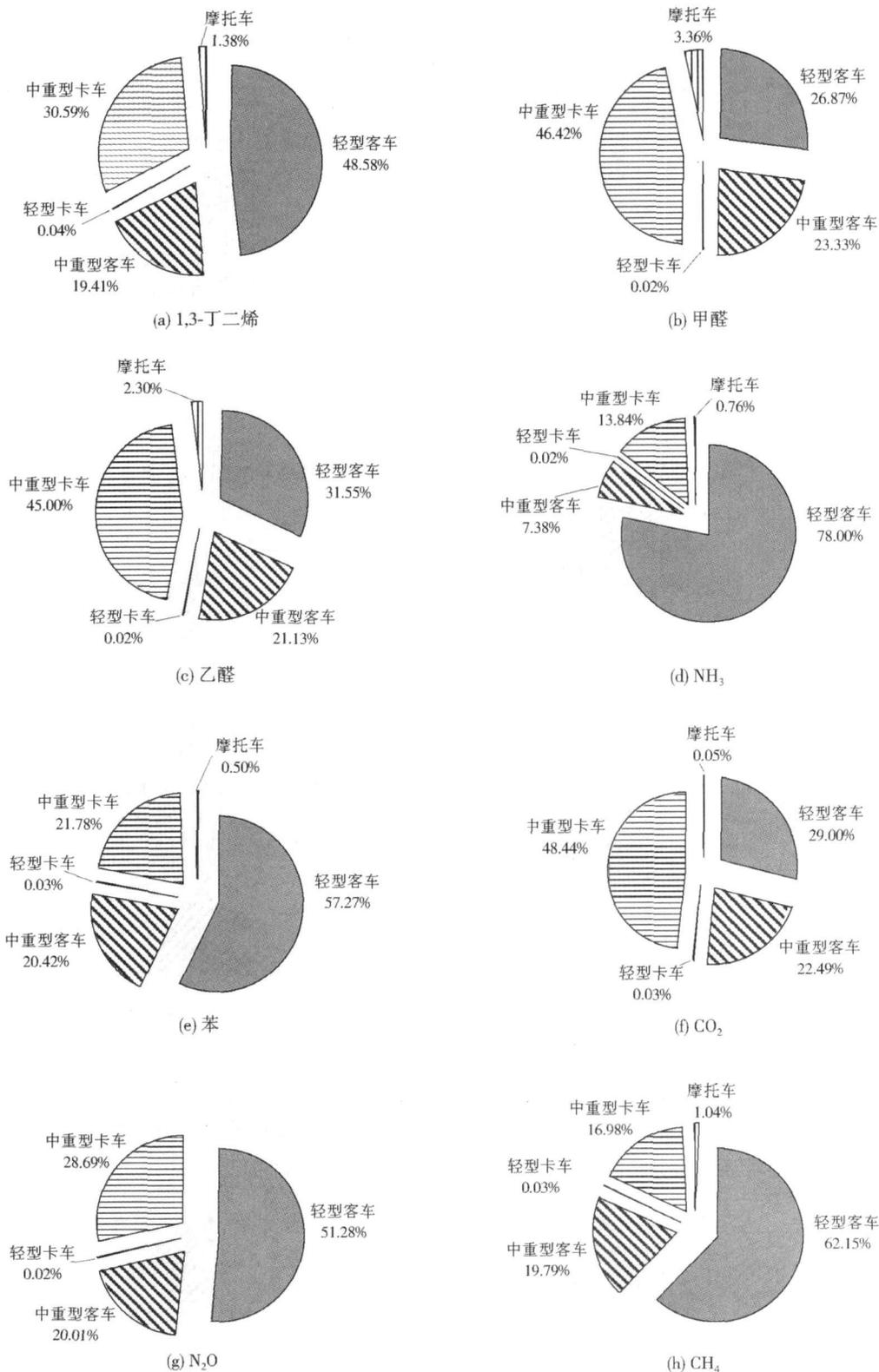


图3 2007年深圳市机动车非常规污染物排放清单

别为 138.1、966.5、352.1、1 127.0、1 640.0、11 761 240.8、398.5、5 709.7 t, 各污染物分车型的排放贡献率如图 3 所示。从图 3 可以看出, 对于 1,3-丁二烯、NH₃、苯、N₂O, 轻型客车、中重型卡车和中重型客车的排放贡献率较大, 3 种车型对 4 种污染物的排放贡献率分别为 48.58%、30.59%、19.41%、78.00%、13.84%、7.38%、57.27%、21.78%、20.42%、51.28%、28.69%、20.01%; 对于甲醛、乙醛、CO₂, 中重型卡车、轻型客车和中重型客车的排放贡献率较大, 3 种车型对 3 种污染物的排放贡献率分别为 46.42%、26.87%、23.33%、45.00%、31.55%、21.13%、48.44%、29.00%、22.49%; 对于 CH₄, 轻型客车、中重型客车和中重型卡车的排放贡献率较大, 分别为 62.15%、19.79% 和 16.98%。

可见, 在深圳市, 对于 1,3-丁二烯、NH₃、苯、N₂O 和 CH₄ 的排放贡献率最大的均为轻型客车, 排放贡献率达 48%~78%; 对于甲醛、乙醛和 CO₂ 的排放贡献率最大的均为中重型卡车, 排放贡献率均在 45% 左右。

3 结 语

在北京市, 对 8 种非常规污染物的排放贡献率最大的均为轻型客车, 排放贡献率均在 50% 以上, 其次主要为中重型客车, 排放贡献率为 5%~26%。在上海市, 对于 1,3-丁二烯、NH₃、苯、CO₂、N₂O 和 CH₄ 的排放贡献率最大的均为轻型客车, 排放贡献率达 37%~68%; 对于甲醛和乙醛的排放贡献率最大的均为摩托车, 排放贡献率分别为 63.53% 和 54.43%。在深圳市, 对于 1,3-丁二烯、NH₃、苯、N₂O 和 CH₄ 的排放贡献率最大的均为轻型客车, 排放贡献率达 48%~78%; 对于甲醛、乙醛和 CO₂ 的排放贡献率最大的均为中重型卡车, 排放贡献率均在 45% 左右。

利用 IVE 模型计算得到城市机动车的非常规污染物的排放清单, 有助于采取有效的控制措施, 为机动车非常规污染物的治理和大气污染防治提供决策依据。

参考文献:

- [1] 郝吉明, 傅立新, 贺克斌, 等. 城市机动车排放污染控制[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001.
- [2] HE Kebin, HU O Hong, ZHANG Qiang, et al. Urban air pollution in China: current status, characteristics, and progress[J]. Annu. Rev. Energy Environ., 2002, 27(3): 397-431.
- [3] CHAN C K, YAO Xiaohong. Air pollution in mega cities in China[J]. Atmospheric Environment, 2008, 42(1): 1-42.
- [4] FU Lixin, HAO Jiming, HE Dongquan, et al. Assessment of vehicular pollution in China[J]. Journal of the Air & Waste

Management Association, 2001, 51(5): 658-668.

- [5] YAO Zhiliang, WANG Qidong, HE Kebin, et al. Characteristics of real world vehicular emissions in Chinese cities[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2007, 57(11): 1379-1386.
- [6] 姚志良. 基于车载测试(PEMS)技术的柴油机机动车排放特征研究[D]. 北京: 清华大学, 2008.
- [7] 游秋雯, 葛蕴珊, 尤可为, 等. 汽油车非常规污染物排放特性研究[J]. 环境科学, 2009, 30(2): 335-340.
- [8] 董素荣, 荣崇林, 赵昌普, 等. 乙醇汽油燃料汽油机非常规污染物的排放特性[J]. 天津大学学报, 2006, 39(1): 68-72.
- [9] DAVIS N, LENTS J, OSSES M, et al. Development and application of an international vehicle emissions model[EB/OL]. [2011-01-20]. <https://www.ircursos.cl/ingenieria/2007/2/ME65A/1/>.
- [10] HUANG Cheng, PAN Hansheng, LENTS J, et al. Shanghai vehicle activity study[EB/OL]. [2011-01-20]. <http://issrc.org/ive/downloads/reports/ShanghaiChina.pdf>.
- [11] WANG M, HUO Hong, JOHNSON L, et al. Projection of Chinese motor vehicle growth, oil demand, and CO₂ emissions through 2050[EB/OL]. [2011-01-20]. <https://www.transportation.anl.gov/pdfs/TA/398.pdf>.
- [12] WANG Qidong, HUO Hong, HE Kebin, et al. Characterization of vehicle driving patterns and development of driving cycles in Chinese cities[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2008, 13(5): 289-297.
- [13] 王海鲲, 陈长虹, 黄成, 等. 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, 2006, 26(1): 1-9.
- [14] 姚志良, 贺克斌, 王岐东, 等. IVE 机动车排放模型应用研究[J]. 环境科学, 2006, 27(10): 1928-1933.
- [15] LIU Huan, HE Kebin, WANG Qidong, et al. Comparison of vehicle activity and emission inventory between Beijing and Shanghai[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2007, 57(10): 1172-1177.

编辑:卜岩枫 (修改稿收到日期:2011-01-25)

(上接第 82 页)

- [23] DIONYSIOU D D, KHODADOUST A P, KERN A M, et al. Continuous mode photocatalytic degradation of chlorinated phenols and pesticides in water using a bench scale TiO₂ rotating disk reactor[J]. Applied Catalysis B: Environmental, 2000, 24(3/4): 139-155.
- [24] DIONYSIOU D D, BURBANO A A, SUIDAN M T. Effect of oxygen in a thin film rotating disk photocatalytic reactor[J]. Environ. Sci. Technol., 2002, 36(17): 3834-3843.
- [25] YATM AZ H C, WALLIS C, HOWARTH C R T. The spinning disc reactor: studies on a novel TiO₂ photocatalytic reactor[J]. Chemosphere, 2001, 42(4): 397-403.
- [26] XU Yunlan, JIA Jinping, ZHONG Dengjie, et al. Degradation of dye wastewater in a thin film photoelectrocatalytic (PEC) reactor with slant-placed TiO₂/Ti anode[J]. Chemical Engineering Journal, 2009, 150(2/3): 302-307.
- [27] ZAYANI G, BOUSSELMIL L, MHENNI F, et al. Solar photocatalytic degradation of commercial textile azo dyes: performance of pilot plant scale thin film fixed bed reactor[J]. Desalination, 2009, 246(1/2/3): 344-352.
- [28] XU Yunlan, HE Yi, CAO Xinde, et al. TiO₂/Ti rotating disk photoelectrocatalytic (PEC) reactor: a combination of highly effective thin film PEC and conventional PEC process on a single electrode[J]. Environ. Sci. Technol., 2008, 42(7): 2612-2617.
- [29] XU Yunlan, HE Yi, JIA Jinping. Cu-TiO₂/Ti dual rotating disk photocatalytic (PC) reactor: dual electrode degradation facilitated by spontaneous electron transfer[J]. Environ. Sci. Technol., 2009, 43(16): 6289-6294.

编辑:贺锋萍 (修改稿收到日期:2010-06-10)