

应用 COPERT III 模型计算中国机动车排放因子

谢绍东, 宋翔宇, 申新华

(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: 介绍了计算机动车污染物排放因子的 COPERT III 模型, 并根据中国机动车实际构成、行驶工况和燃油特征确定了模型所需参数, 然后应用该模型计算得到了 2002 年中国机动车排放 CO、NO_x、NMVOC 和 PM 的排放因子。通过比较 COPERT III 模式、MOBILE 模式和台架测试得到的中国机动车排放因子发现, 应用 COPERT III 模型计算获得的排放因子更接近中国机动车实际排放情况。

关键词: 排放因子; 机动车; COPERT III; CO; NO_x; NMVOC; PM

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)03-0415-05

Calculating Vehicular Emission Factors with COPERT III Mode in China

XIE Shao-dong, SONG Xiang-yu, SHEN Xin-hua

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

Abstract: The COPERT III model for calculating the emission factors of motor vehicles is described and the required parameters are determined based on the actual categories, driving cycles and fuel oil characteristics of motor vehicles in China. And then the model is used to calculate the vehicle emission factors of CO, NO_x, NMVOC and PM in China in 2002. By comparing the difference between the emission factors derived from the COPERT III model, the MOBILE model and the chassis dynamometer, it is found that the emission factors calculated using the COPERT III model is better close to those in the actual emission status in China.

Key words: emission factors; motor vehicles; COPERT III; CO; NO_x; NMVOC; PM

排放因子反映了机动车的排放水平, 是机动车污染控制的重要依据。机动车排放因子的确定方法一般包括台架测试、实际工况测试、隧道实验、遥感测量^[1]和模式计算等。台架测试可以确定一定工况下的机动车排放因子, 但结果离散性较大并且难以快速反映条件变化时排放因子的变化情况^[2]; 在考虑了燃料特征、排放控制水平、行驶工况等实际因素的影响后, 机动车排放因子可以利用 MOBILE、COPERT 等排放因子模型来估算, 也可以通过隧道实验、实际工况测试和遥感技术等方法实际测量。我国目前已有的机动车排放因子研究主要集中在台架测试、隧道实验^[3]的直接测量和应用美国 MOBILE 模型^[4-7]的模式计算上。2000 年, 我国新一轮机动车排放标准开始在全国执行(相当于欧 I), 基本上采用了欧洲体系。在这种情况下, 本研究应用欧洲国家广泛使用^[8,9]的 COPERT III 模型, 以 2002 年为基准年确定模型参数, 计算了我国的机动车排放因子。

1 COPERT III 模型简介

COPERT 模型起源于欧洲委员会(EC)开展的机动车排放因子研究, 经多年完善形成了目前的可以由计算机程序实现的 COPERT III 模型。该模型采

用了大量可靠的实验数据, 可以兼容不同国家标准和参数变量, 为欧洲国家所广泛应用。与 MOBILE 模型相比, COPERT 模型更适用于有着不同尾气排放标准 and 很少交通数据资料的国家。另外, COPERT 模型能够计算机动车年排放量, 可以用于开发高时空分辨率的机动车排放数据库^[10]。

根据欧盟相关机动车法规, COPERT III 模型将机动车划分为以下几大类^[11, 12]:

- (1) 小客车(Passenger Cars) 总质量小于 2.5t 乘员数不超过 8 人的客车。
- (2) 轻型货车(Light Duty Vehicles) 总质量 $\leq 3.5t$ 的货车。
- (3) 重型货车(Heavy Duty Vehicles) 总质量 $> 3.5t$ 的货车。
- (4) 公共汽车或长途客车(Urban Buses & Coaches) 乘员数在 8 人以上的客车。
- (5) 摩托车(Two Wheelers) 二冲程、四冲程摩托车, 机动脚踏两用车。

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: 谢绍东(1963~), 男, 教授, 主要研究方向为大气污染控制, E-mail: sdxie@pku.edu.cn

每大类又按照发动机排量、车辆总质量、燃料类型和排放控制标准等进一步划分为若干小类。与此同时,模型还将道路划分为城区、郊区和高速公路3种类型,详细描述了机动车在不同状况下的排放特征。

COPERT II模型认为机动车排放的污染物来自于发动机热稳定运行排放(the thermal stabilized engine operation, hot)、冷启动排放(warming-up phase, cold start)和燃料蒸发3个排放源,并分别计

表1 排量1.4~2.0L的汽油机小客车排放因子计算公式¹⁾

Table 1 Formulas calculating emission factors for 1.4~2.0L passenger cars

排放类别	污染物类型	行驶工况	
		ECE 15-04	EURO I
热稳定状态/ $g \cdot (km \cdot 辆)^{-1}$	CO	$260.788v^{-0.910}$	$9.617 - 0.245v + 0.0017285v^2$
	NO _x	$1.484 + 0.013v + 0.000074v^2$	$0.526 - 0.0085v + 8.54E-05v^2$
	NM VOC	$19.079v^{-0.693}$	$0.4494 - 0.00888v + 5.21E-05v^2$
冷启动状态	CO	$A \times [(3.7 - 0.09t_a) - 1]$	
	NO _x	$A \times [(1.14 - 0.006t_a) - 1]$	
	NM VOC	$A \times [(2.8 - 0.06t_a) - 1]$	
燃料蒸发	每日排放/ $g \cdot d^{-1}$	$9.1 \exp[0.158(RVP - 61.2) + 0.0574(t_{a, \min} - 22.5) + 0.0614(t_{a, \text{rise}} - 11.7)]$	
	热排放/ $g \cdot procedure^{-1}$	$3.0042 \exp(0.02RVP)$	
	运行损失/ $g \cdot km^{-1}$	$0.136 \exp(-5.967 + 0.04259RVP + 0.1773t_a)$	

1) v 为车速/ $km \cdot h^{-1}$; t_a 为月平均气温, $t_{a, \max}$ 为月最高气温, $t_{a, \min}$ 为月最低气温; $t_a = (t_{a, \max} + t_{a, \min})/2$, $t_{a, \text{rise}} = t_{a, \max} - t_{a, \min}$, RVP 为燃料蒸汽压/kPa; A 为热稳定状态下相应工况下各污染物排放因子。

应用 COPERT II模型计算排放因子,需要的参数包括车队组成(fleet)、平均行驶速度、平均旅程长度、燃料参数和气候参数等。这些参数的取值最终决定排放因子的不同,因此如何确定参数是研究的关键。

2 参数确定

2.1 车辆类型

中国目前对机动车车辆类型的划分与 COPERT II模型有所不同,而且常见统计数据 and 机动车相关研究对机动车车辆类型的划分也不一样。为了确定中国机动车车辆类型对应的 COPERT III模型的车辆类型,本研究通过比较 COPERT III模型^[11]和我国现用机动车分类标准^[13],得到表2所示结果。

2.2 平均行驶速度

COPERT II模型中热稳定状态下的排放因子表现为机动车平均行驶速度的函数,因此应用准确的平均行驶速度是正确计算排放因子的基础。我国机动车主要集中在城市地区,需要重点考虑城市行驶工况下的平均行驶速度。表3为我国目前几个城市机动车的实际行驶工况,参考该结果及国内常见

算其排放因子:①热稳定状态时,不同类型发动机的排放因子只与机动车行驶速度有关;②冷启动过程的排放用热稳定状态时的排放加上一个额外值得到;③燃料蒸发排放的 NM VOC 由每日排放(diurnal emissions)、热浸排放(hot soak emissions)和运行损失(running losses)3部分组成,其排放因子表现为燃料蒸汽压和环境温度的函数。表1以排量1.4~2.0L的汽油机小客车为例给出了 CO、NO_x 和 NM VOC 的各类排放因子的计算公式,详见文献[11]。

取值本研究取 20km/h 的平均行驶速度。

表2 中国机动车车辆类型所对应的 COPERT II模型的车辆类型

Table 2 Categories of motor vehicles in China corresponding with those in the COPERT III model

中国机动车车辆类型	COPERT III机动车车辆类型
大型客车 乘员数 ≥ 20	大客车 公共汽车 长途客车
中型客车 20 > 乘员数 > 9	
小型客车 乘员数 ≤ 9	小客车 柴油, 排量 > 2.0L 汽油, 排量 > 2.0L 汽油, 1.4L < 排量 < 2.0L
微型客车 排量 < 1L	
微型客车 排量 < 1L	
重型货车 > 12t	重型货车 柴油 > 16t 汽油 > 3.5t 柴油 3.5t ~ 7.5t 柴油 7.5t ~ 16t
中型货车 4.5t ~ 12t	
中型货车 4.5t ~ 12t	
轻型货车 < 4.5t	轻型货车 汽油 < 3.5t 柴油 < 3.5t
微型货车 < 0.75t	
排量 $\leq 50 \text{ cm}^3$	摩托车 二冲程, 排量 > 50 cm^3 四冲程, 排量 < 250 cm^3 四冲程, 排量 250 ~ 750 cm^3 四冲程, 排量 > 750 cm^3
排量 > 50 cm^3	
排量 > 50 cm^3	

2.3 其他参数

(1) 燃料参数 包括燃料蒸汽压和燃料中各种成分的含量,参照我国相关燃油标准得到我国车用

汽油蒸气压为冬季(9月到第2年2月)74kPa,夏季(3月~8月)88kPa,并且均为无铅汽油(含铅量低

于0.013g/L),汽油和柴油的含硫量分别为0.02%和0.05%.

表3 中国城市机动车工况参数^[14]

Table 3 Driving cycles of motor vehicles on urban road in Chinese city

工况类型	最高速度 /km·h ⁻¹	平均速度 /km·h ⁻¹	怠速时间比例 /%	加速时间比例 /%	减速时间比例 /%	均速时间比例 /%
北京工况	65.26	19.98	16.52	25.29	30.85	27.34
天津工况	50.25	19.05	7.74	26.88	27.64	27.75
大连工况	72.00	33.50	6.14	38.60	22.06	33.19
上海工况	44.00	14.94	31.61	22.83	23.28	22.28
广州工况	50.38	14.14	17.77	29.11	27.16	25.95
ECE15 工况	50.00	18.70	30.80	21.50	18.50	29.20

(2)气候参数 包括月均最高气温和最低气温,由我国气象统计资料获得^[15].

(3)平均旅程长度 机动车一个运行过程所走的平均距离,COPERT II的默认值为12km.

(4)负载和坡度 机动车负载状况和道路坡度均会对机动车排放因子造成影响,本文采用模型的默认情况,即负载50%且不计坡度.

以上参数均在国家水平上确定,如果计算省(县)级地区的排放因子,需要根据实际情况重新确定这些参数.

3 结果与讨论

将本研究获得的参数输入模型,并考虑我国2000年前后机动车排放控制标准分别执行的是相当于欧洲ECE15/04标准或传统标准和欧I排放标准,得到表4所示中国机动车排放因子.由表4可以看出,CO的排放以汽油机货车最为显著,并且随车辆质量的增加而增加,摩托车和汽油机客车也具有较高的排放;以大中型载客汽车为代表的柴油车辆的NO_x排放因子较高,而摩托车的排放则很少,二者最多可相差400多倍;由于汽油蒸发的原因,汽油机客车和摩托车排放的NMVOC要高于柴油车,但中型以上柴油车的排放也不容忽视;大中型客车和重型货车排放的颗粒物的排放因子较大;采用欧I标准可显著减少机动车污染物的排放.

将表4中汽油车<3.5t汽油车>3.5t柴油车<3.5t柴油车3.5~7.5t柴油车7.5~16t和摩托车(4种摩托车的平均值)6种传统排放标准车型分别与应用MOBILE模型^[7]和台架测试^[16]得到的我国轻型汽油车、中型汽油车、轻型柴油车、中型柴油车、重型柴油车和摩托车的CO、NO_x和NMVOC的排放因子进行比较,结果如图1所示.

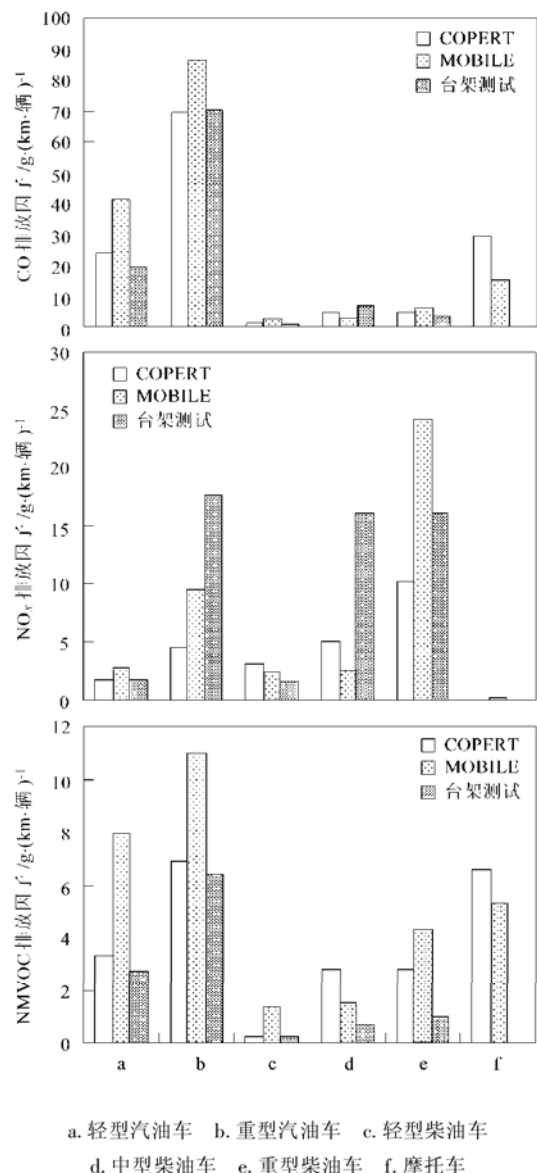


图1 COPERT III模式、MOBILE模式和台架测试获得的
中国机动车排放因子比较

Fig. 1 Comparison of the motor vehicle emission factors derived from COPERT III mode, MOBILE mode and chassis dynamometer

表 4 中国机动车排放因子(车速:20km/h) / g·(km·辆)⁻¹
Table 4 Vehicular emission factors in China(speed: 20km/h)

车辆类型	技术标准	排放因子				
		CO	NO _x	NM VOC	PM	
小客车	汽油,排量< 1.4 L	ECE 15/04	24.04	1.55	3.35	
		Euro I	9.15	0.47	0.74	
	汽油 1.4~ 2.0L	ECE 15/04	24.04	1.80	3.35	
		Euro I	9.51	0.47	0.61	
	汽油> 2.0L	ECE 15/04	24.04	2.29	3.35	
		Euro I	11.70	0.60	0.72	
		Conventional	1.10	0.70	0.34	0.37
		Euro I	0.97	1.02	0.15	0.13
柴油< 2.0L	Conventional	1.10	1.06	0.34	0.37	
	Euro I	0.97	1.02	0.15	0.13	
轻型货车	汽油< 3.5t	Conventional	44.97	2.35	4.79	
		Euro I	15.62	0.60	0.69	
	柴油< 3.5t	Conventional	1.59	3.18	0.20	0.34
		Euro I	0.73	1.54	0.20	0.14
重型货车	汽油> 3.5t	Conventional	70.00	4.50	6.86	
	柴油 3.5~ 7.5t	Conventional	4.65	5.00	2.81	0.55
		Euro I	2.33	3.50	2.11	0.36
	柴油 7.5~ 16t	Conventional	4.65	10.11	2.81	1.09
Euro I		2.33	7.08	2.11	0.71	
公共汽车和长途客车	公共汽车	Conventional	6.34	18.86	1.82	0.87
		Euro I	3.17	13.21	1.36	0.56
	长途客车	Conventional	5.16	17.63	2.93	1.02
		Euro I	2.84	9.70	1.46	0.66
摩托车	二冲程> 50cm ³	Conventional	21.14	0.04	13.75	
	四冲程< 250cm ³	Conventional	37.62	0.09	3.87	
	四冲程 250~ 750cm ³	Conventional	32.16	0.09	3.21	
	四冲程> 750cm ³	Conventional	23.92	0.10	5.40	

由图 1 可以看出,总体上 COPERT II 模式、MOBILE 模式和台架实验所获得的数据在反映不同车型排放特征的关系上是一致的;除中、重型车辆 NO_x 的排放以外, COPERT II 模式的计算结果较 MOBILE 模型更接近于台架实测值,特别是 CO 和 NMVOC 的排放因子更加接近; COPERT II 模型得到的 CO 排放因子与台架实测值吻合的非常好,而 MOBILE 模式的计算结果则普遍偏高,但三者的数值差别不大; 2 种模型得到的轻型车辆 NO_x 排放因子与台架实测值比较接近,而中、重型车辆的数值差别较大,但中、重型柴油车依然是 COPERT II 模型与实测值更接近; COPERT II 模型计算的 NMVOC 排放因子比 MOBILE 模型更接近实测值,但在数值上也有一定差异,其中汽油车比柴油车吻合得好; 2 种模型计算的摩托车污染物排放因子间的差别不大, COPERT II 模型的 CO 和 NMVOC 排放因子高于 MOBILE 模型,而 NO_x 正好相反. 由上述比较分析可见,可以应用 COPERT 模式计算中国机动车排放因子,其结果较 MOBILE 模型更接近于台架测试

结果,但考虑到 MOBILE 模型计算的基准年较早,其数值偏高也是比较合理的.

4 结论

COPERT II 模型来自于有着与我国相近发动机技术的欧洲,并能兼容我国目前和未来一段时间内的机动车排放控制标准. 该模型所需要的参数较 MOBILE 模型少,而且容易获得,便于推广使用,可计算不同地区不同道路多种行驶工况下的各种机动车的排放因子. 本文计算结果显示出与台架实验、MOBILE 5.0 计算的结果有较好的一致性,而且更接近于台架实验测试的结果,说明该模型应用于计算中国机动车污染物排放因子更为合适.

参考文献:

- [1] Ake Sjodin, Kenth Andreasson. Multyear remote sensing measurements of gasoline light-duty vehicle emissions on a freeway ramp[J]. Atmospheric Environment, 2000, 34: 4657 ~ 4665.
- [2] 邓顺照, 史宝忠. 我国轻型汽车污染物排放因子的测试研究[J]. 中国环境科学, 1999, 19(2): 176~ 179.

- [3] 王伯光, 张远航, 等. 广州市机动车排放因子隧道测试研究 [J]. 环境科学研究, 2001, **14**(4): 13~ 16.
- [4] 傅立新, 贺克斌, 等. MOBILE 汽车源排放因子计算模式研究[J]. 环境科学学报, 1997, **17**(4): 474~ 479.
- [5] 傅立新, 郝吉明, 等. 北京市机动车污染物排放特征[J]. 环境科学, 2000, **21**(3): 68~ 70.
- [6] 王岐东, 丁焰. 中国机动车排放模型的研究与展望[J]. 环境科学研究, 2002, **15**(6): 52~ 55.
- [7] 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.
- [8] José M Burón, José M López, *et al.* Estimation of road transportation emissions in Spain from 1988 to 1999 using COPERT III program [J]. Atmospheric Environment, 2004, **38**: 715~ 724.
- [9] Ekström M, Sjödin Å, Andreasson K. Evaluation of the COPERT III emission model with on road optical remote sensing measurements[J]. Atmospheric Environment, 2004, **38**: 6631 ~ 6641.
- [10] Theodoros Zachariadis, Zissis Samaras, An Integrated Modeling System for the Estimation of Motor Vehicle Emissions [J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 1995, **49** (9): 1010~ 1026.
- [11] COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport Methodology and emission factors (Version 2.1). Copenhagen: EEA, 2000.
- [12] COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport User's manual (Version 2.1). Copenhagen: EEA, 2000.
- [13] 许进禄. 中国汽车市场年鉴[M]. 北京: 中国商业出版社, 2003. 334.
- [14] 刘希玲, 丁焰. 我国城市汽车行驶工况调查研究[J]. 环境科学研究, 2000, **13**(1): 23~ 27.
- [15] 毛耀顺. 中国气象年鉴[M]. 北京: 气象出版社, 2003. 489 ~ 490.
- [16] 丁焰. 中国城市机动车排放因子研究[D]. 北京: 北京大学, 2002.