

MOBILE 汽车源排放因子计算模式研究*

傅立新 贺克斌 何东全 唐仲洲 郝吉明

(清华大学环境工程系, 北京 100084)

摘要 研究和分析了影响汽车污染排放的各种因素,系统地剖析了美国环保局计算汽车源排放因子的模式,分析了模式的结构和理论基础,并给出其中一些重要参数的确定方法,为模式及其参数的正确运用和修正提供了理论指导.还从模式的系统发展过程,比较了各版本的主要改进之处,并讨论了我国汽车源排放因子计算应考虑的主要因素.

关键词 汽车污染; 排放因子; 计算模式.

1 概述

MOBILE 汽车源排放因子模型(Source Emission Factor Model)是计算车队(fleet)排放水平的程序. MOBILE 的数据来源为美国环保局(EPA)组织的各种不同的在用车排放水平检测结果,以及联邦测试程序 FTP(Federal Test Procedure)中测得的排放结果. 由于车辆的组成包含不同车种,车型,配置不同排放控制措施;有不同的发动机结构、变速器类型、化油器或燃油喷射系统;有不同的维修保养状况、不同的行驶里程;因而,测试结果对全体车辆排放状况有相当的代表性.

从这些数据的分析中,能得出各年、各车型的平均水平的排放因子,以及车辆的各种参数(例如发动机的排量,车辆的载重及自重)和环境参数(例如温度,湿度,气压及 CO 含量等)对排放的影响.

以上是车辆自身排放特性,另外,由于检查(Inspection)/保养(Maintenance)计划的不同,车辆使用频率的不同,车辆各类型所占比例不同,会对整体车队的排放造成影响.

而且,对于不同道路条件,车辆的使用工况不同,排放水平亦有变化. 还有随着发动机技术提高,废气排放不断改善,车辆在使用过程中,油路部分及曲轴箱等的蒸发排放水平对总排放有着愈来愈多的影响.

综合以上情况,美国 EPA 开发了 MOBILE 模型,考虑各种对排放产生影响的因素,计算出总体排放的水平.

2 模式结构

对于不同车辆,不同发动机的排放特性,MOBILE 分为 8 类进行模拟. 这与 SAE(汽车工程师协会)对车辆的分类是一致的,这样可利用大量 FTP 的测试数据. 车辆分类如下:

1. 轻型汽油机车辆(LDGV——Light Duty Gasoline Powered Vehicles);
2. 轻型汽油机卡车(LDGT——Light Duty Gasoline Powered Trucks);

第一作者简介:男,30岁,讲师(硕士)

* 本课题得到福特中国发展与研究基金资助,批准号为 9412704

3. 重型汽油机车辆(HDGV ——Heavy Duty Gasoline Powered Vehicles);
4. 轻型柴油机车辆(LDDV ——Light Duty Diesel Powered Vehicles);
5. 轻型柴油机卡车(LDDT ——Light Duty Diesel Powered Trucks);
6. 重型柴油机车辆(HDDV ——Heavy Duty Diesel Powered Vehicles);
7. 摩托车(MC ——Motorcycles).

对于第 2 类机动车,按其总重量(GVW, Gross Vehicle Weight)分为两类:LDGT1(GVW < 2700kg)和 LDGT2(2700kg < GVW < 3900kg). 在 MOBILE1 中,没有 4、5 两类机动车.

将车辆总体分为以上 7 类后,就可以按各自的排放特性,独立计算各自的排放因子. 再按各自对总排放因子的权重进行加权平均,得到总排放因子.

排放因子的单位是 g/km,对于各种车辆,对总排放水平的权重大小即为这类车辆的行驶里程数占总机动车行驶里程数的大小,MOBILE 模型中称为里程权重系数(Travel Weighting Factor). 通过统计获得的各类车每年行驶的平均里程数,与该类车在车辆登记时所占比例的大小,即可获得该类车总的行驶里程数,因而可确定该类车在总排放中的权重大小.

计算某一类车时,要考虑其各自不同的排放特性. 这种不同突出地表现在不同年生产的车型之间的排放不一致. 这是因为随着生产技术的提高,汽车排放水平随时间推移有较大的改变,另外,排放法规, I/M(检查/维修)计划也都是针对某年生产的车型制定的.

为了更好地反映排放技术的差异,尤其是能够对各种排放法规及 I/M 计划的效果进行评估,各类车的排放因子计算是以各车型为基准的.

确定车型和类别后,大量的数据表明,在一定的环境条件下(如 FTP 测试的标准条件),车辆的排放与其使用里程呈线性关系,用下式表示:

$$C_{ipn} = A_{ip} + B_{ip} \cdot Y_{in} \quad (1)$$

式中, C_{ipn} ——FTP(1975) 平均排放因子, g/km;

A_{ip} ——初始排放因子;

B_{ip} ——排放因子恶化率;

Y_{in} ——总行驶里程;

i ——出产年代; p ——污染物类型; n ——计算年代.

在计算出基本排放水平后,可考虑各种修正因素,对其排放因子进行修正,得到实际排放因子 E .

$$E = SUM(C, M, F, C_A, L, U, H) \quad (2)$$

式中, SUM ——表示下述物理量的综合函数; C , FTP(1975) 平均排放因子; M , 占总行驶里程比例; F , 温度, 速度, 热启动/冷启动工况修正参数; C_A , 空调装置修正参数; L , 负载修正系数; U , 拖车修正参数; H , 湿度修正参数.

3 主要影响因素

3.1 行驶里程比例(fraction of total mileage)

各种车型如上所述的原因,对总排放因子的权重与里程比例呈相同的大小. 因而可以统计出各车型的行驶里程,进行排放因子的综合.

MOBILE 是针对美国开发的排放因子计算程序,因而在考虑计算年的排放因子时,只考

虑在其之前 20 年的车型. 原因是使用 20 年的车辆一般均已报废, 即在行驶里程比例中为 0. 这样, 某年的排放是这之前 20 年所生产的车辆的排放平均值.

$$M_{in} = R_{in} \cdot T_{in} \quad (3)$$

式中, R_{in} 为车型登记比例; T_{in} 为年平均行驶里程.

3.2 温度、速度、热启动/冷启动工况修正参数

MOBILE 与其前身(Automobile Exhaust Emission Modal Analysis Model) 在处理车辆工况上有相当大的区别. MOBILE 是基于 FTP 中的测试数据, 因而其排放因子也是参照 FTP 计算的.

FTP 的试验条件对汽车及环境的状态有相当详尽的规定. 而且, FTP 中是以热启动状态、冷启动状态、及热稳定状态来模拟各种路面工况的. 因而在不同环境和工况下, 就需要对排放因子进行修正.

对于不同的条件, MOBILE 的输入有各种方案参数(Scenario), 由用户提出温度, 速度, 及冷热启动工况的组成的参数, 以适应计算不同地区, 不同季节, 不同使用条件下的排放因子.

环境方案修正参数的一般公式为:

$$\begin{aligned} R &= (B_1 + B_2 + B_3) / D \\ B_1 &= w \cdot (\exp(a - b \cdot T) + c + d \cdot A) \cdot (v_{g, s1} / v_{g, 26}) \\ B_2 &= (1 - w - x) \cdot (h + j \cdot A) \cdot (v_{g, s2} / v_{g, 26}) \\ B_3 &= x \cdot (e + f \cdot A) \cdot (v_{g, s3} / v_{g, 26}) \\ D &= (d_0 + d_1 \cdot A) \end{aligned} \quad (4)$$

式中, w ——冷启动状态占的总行驶里程比例;

x ——热启动状态占的总行驶里程比例;

T ——环境温度, F;

A ——车龄减去 1;

g ——车型-地区目录;

s_1, s_2, s_3 ——各指定状态平均车速, km/h;

$v_{g, si}$, 各状态速度修正因子;

$a, b, c, d, e, f, h, j, d_0, d_1$ 为与污染物类型和不同车型有关的量.

从环境修正参数可看出, 温度与车速工况是联合对排放因子产生影响的. 故将温度与车速工况联合作为一个修正因子.

3.3 空调装置修正参数(Air Conditioning Correction Factor)

空调的动力来源是发动机, 这额外的动力要求会加大整车的排放水平.

$$C_A = u \cdot v \cdot (C_{fa} - 1.0) + 1.0 \quad (5)$$

式中, C_A , 空调修正因子;

u , 配备空调的车辆比例;

v , 配备空调车中使用空调的车辆比例;

C_{fa} , 修正因子, 见表 1.

3.4 负载修正因子>Loading Correction Factor

表 1 空调修正因子

Table 1 Correct factors for air conditioning			
污染物	HC	CO	NO _x
C_{fa}	1.13	1.18	1.18

FTP 规定的负载约为 136 kg, (包括驾驶员, 油, 水等), 额外的负载会增加其排放因子。

$$L_p = u \cdot (C_{fl} - 1.0) + 1.0 \quad (6)$$

式中, u ——负载车的比例;

C_{fl} 见表 2.

表 2 负载修正因子

Table 2 Correct factors for over loading

污染物	HC	CO	NO _x
C_{fl}	1.06	1.20	1.03

3.5 拖车修正参数 (Trailer Towing Correction Factor)

拖车相当于带上额外负载, 且会导致发动机工作在功率较大区间 (此时燃料富集, 对于汽油机而言, $\alpha \approx 0.8$ 左右), 增加排放水平。

$$V_{ipw} = u \cdot (C_{fl} - 1.0) + 1.0 \quad (7)$$

式中, V_{ipw} ——拖车修正因子;

u ——拖车的比例;

C_{fl} ——修正因子;

表 3 拖车修正参数

Table 3 Correct factors for trailing towing

	a_p	b_p	c_p
HC	1.32	0.75	0.43
CO	2.15	1.55	0.39
NO _x	1.16	1.28	0.9

对于 1975 年以前车型, HC, 1.32; CO, 2.15; NO_x, 1.16;

对于 1975 年以后车型, $C_{fl} = (w \cdot a_p + (1-w) \cdot b_p) / (w + (1-w) \cdot c_p)$

其中, w ——在总行驶里程中, 冷启动状态的百分比。

3.6 湿度修正参数

湿度主要对 NO_x 的排放有作用。一般认为湿度为 10.7 (g/kg) 为标准状态。

$$C_{th} = 1.0 - 0.0047(H - 75) \quad (8)$$

式中, C_{th} ——湿度修正系数;

H ——湿度。

3.7 I/M 计划影响

I/M 计划对总体排放因子亦有较大的影响。对于各种 I/M 程序, MOBILE 也考虑了对排放因子的影响。

MOBILE 对 I/M 程序的考虑因素有类型、实行方法、普及率、效用等。对各种不同的 I/M 程序, 应通过实验或理论分析, 得出该程序对排放的影响, 再根据其性质, 类型, 对某几种排放因子作出修正。

对于怠速排放, 采用与平均排放类似的办法, 可以得出排放的平均怠速排放因子, 怠速排放恶化率等, 另外, 对怠速排放没有速度, 负载的修正影响。

4 模式的发展过程

MOBILE 汽车源排放因子模型做为基于实验数据的计算程序, 随着实验数据的不断积累不断地进行改进。

MOBILE1 发布于 1978 年, 它建立了 MOBILE 系列模型计算框图, 基本计算方法, 基本输入输出格式等。

MOBILE2 发布于 1981 年, 它增加了两种车型: 轻型柴油车辆 (LDDV) 和轻型柴油卡车 (LDDT) 排放对总排放因子的影响。另外, 对基本排放因子等作了更新。

MOBILE3 发布于 1985 年, 增加了 7 种损害状况对排放的影响: 1. 燃料不合标准; 2. 燃油

导入失败; 3. 催化剂失效; 4. EGR 废气再循环失效; 5. 蒸气滤灌失效; 6. PCV 曲轴箱强制通风失效; 7. 气泵失效. 这些损害状况的影响是以偏移量计算, 按损害状况的严重程度和所占的比例来估计大小. 另假设损害状况随着行驶里程的积累而线性增长. 另外, 将温度修正因子 $f_T = K \cdot \exp(T - 68)$ (其中 K 为温度修正系数) 改为温度偏移量 $O_T = (-1.38/2) \cdot (T - 75) \cdot T_r$ (T_r 为换算系数, 值为 0.625).

4.1 发布于 1989 年的 MOBILE4

4.1.1 增加了运行损失排放 该排放是汽车运行中产生的蒸发损失. 该损失至少有部分是由于蒸气滤灌清洗不足造成的, 此时, 滤灌达到饱和, 多余的蒸汽便溢入大气中. 另外, 运行损失排放还含有汽车燃油系统泄漏和其它原因. 该排放随着温度和燃油挥发性的增加而增加, 平均车速的增加而减少.

4.1.2 增加了加油损失 加油过程中, 将原先空余部分的蒸汽挤出油箱产生的排放. EPA 数据表明, 该排在城镇地区占总 HC 排放的 2%. MOBILE4 中, LDGV 用加油排放因子 (g/km) 计算, LDGT, HDGV 则是以总排放的相对百分比量作为排放计算.

4.1.3 挥发性排放影响和挥发性控制 燃油挥发性对蒸发排放和尾气排放均有一定的影响, MOBILE1 和 MOBILE2 是基于 RVP9.0psi. MOBILE3 的蒸发排放基于 11.5psi (RVP), 尾气排放基于 9.0psi (RVP).

MOBILE4 中, 挥发性对尾气排放的影响大小是以温度为参数的. 对于蒸发排放的影响, 则是以每日行驶次数和行驶里程数计算的.

$$E_{HC}(\text{g/km}) = (T_v H_s + D_i) / M_t \quad (9)$$

式中, H_s 为启动产生的排放, D_i 为日间总排放, T_v 为每日行驶次数. 另外, M_t 为总行驶里程. 对于限制燃油挥发性的控制方法, 亦给出相应的结果.

4.1.4 温度的影响 MOBILE4 中, 温度影响废气 HC, CO, NO_x 排放, 日间 HC 蒸发, 启动 HC 蒸发, 运行损失等. 对温度采用最高温度, 最低温度和平均环境温度.

MOBILE4.1 发布于 1991 年, 主要改进为: 增加了氧重整燃油 (Oxygenate Fuel) 对排放的影响. 考虑对光化学反应起作用的 HC 时, 除了 CH₄, 还增加了一些光化学效应可忽略的有机物, 对 Non-methane 排放产生影响, 另外, 头一次对计算年份前 25 年车型都进行排放水平计算.

4.2 1992 年发布的 MOBILE5 模式

1. 调整了污染物排放与平均车速的关系曲线, HC, CO 在中速段排放随车速的减小趋于平缓, NO_x 的排放曲线也做了相应调整.

2. 根据 1990 年清洁空气法案的要求, 增加了几项因素及法规实施对排放因子的影响: 考虑修正的更加严格的蒸发排放测试方法, 并认为从 1995 年起经 4 年启动期完成; 增加过渡态 I/M 测试对排放的影响, 并提供了用户确定 I/M 排放限值的选项; 考虑重整汽油对汽油车排放因子的影响, 以及低排放汽车计划对排放的减少等.

3. 将氧重整燃料对排放的影响由 CO 扩大到各种各种污染物.

4. 计算结果增加了 7 月 1 日以考虑气候和重整汽油性质的季节变化.

5 对我国汽车适用性的探讨

我国汽车的制造水平低下, 且发展相当不平衡, 关于排放所做的工作也很少, 故难以建立

一个完整的各车种、车型的排放特性公式,但在统计上可类比于美国某一年代汽车的排放水平,因而在基本排放因子和恶化率上,采用 MOBILE 模式是适合的。

MOBILE 模式的计算参数是公开的,用户可根据自己的需要进行修改,因而适合我国不同地区环境参数差异的考虑。

我国目前 I/M 计划差距较大,应予以特别考虑,MOBILE 模式关于各种影响的计算,都是由子程序实现,模式结构化程度较高,很容易对其功能进行扩充,使之更好地适合我国国情。

参 考 文 献

- 1 EPA-400/9-78-007, User's Guide to Mobile1: Mobile Source Emissions Model. Environmental Protection Agency of United States, Washington DC, 1978
- 2 EPA/400/9-78/005, Mobile Source Emission Factors. US EPA, Washington DC, 1978
- 3 EPA/AA/TEB-89/01, User's Guide to Mobile4. EPA Ann Arbor, MI, 1989
- 4 EPA/AA/TEB-89/02, Programmer's Guide to Mobile4. EPA Ann Arbor, MI, 1989
- 5 EPA/SW/MT-91/098A, User's Guide to Mobile4. 1. EPA Ann Arbor, MI, 1991
- 6 EPA460/3-84-002, User's Guide to Mobile3. US EPA, Washington DC, 1984
- 7 Robert D. Vehicle emission rate analysis for CO hot spot modeling. J. Air Pollution Control Assoc, 1989, 39: 1334-1343
- 8 Hlavinka Michael W, Bullin Jerry A. Validation of mobile source emission estimates using mass balance techniques. Japca, 1988, 38(8): 1035-1039
- 9 Zweidinger Rou B, Sigsby *et al.*. Detailed mobile source emissions from roadway studies. Environmental science and Technology, 1988, 22(8): 956-962

1996-01-17 收到

A STUDY ON MODELS OF MOBILE SOURCE EMISSION FACTORS

Fu Lixin, He Kebin, He Dongquan, Tang Zhongzhou, Hao Jiming

(Department of Environmental Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

ABSTRACT Based on an analysis of major factors which affect the emissions from mobile sources, a systematic study on the MOBILE models was carried out to reveal the theory basis. The structure of the model and parameterization of some important factors were also given in this paper, providing a guidance for its application. From the development process of MOBILE models, a comparison was given to show the major improvement between different versions. A discussion was presented to identify the major consideration for their application in China.

Keywords Vehicle pollution, emission factor, calculation model.