

# 利用 MOBILE 6.2 模型预测 LPG 出租车排放因子

吴大磊, 林怡青, 彭美春, 蒋文明, 王贤烽  
(广东工业大学, 广东 广州 510090)

**摘要:** 针对 MOBILE 6.2 预测天然气汽车排放因子的功能, 分析了其在预测液化石油气 (LPG) 轻型汽车上的可行性。并根据 LPG 出租车汽车排放总量分析系统 (VMAS) 测试结果, 得到所需参数, 预测了实验车队的排放因子, 与实测值的误差 10%, 表明 MOBILE 6.2 预测 LPG 轻型汽车排放因子具有良好的适用性。

**关键词:** 排放因子; 液化石油气出租车; VMAS 测试; MOBILE 6.2 移动源排放模型

**中图分类号:** X51      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1006-2009(2009)01-0046-04

## Prediction of Emission Factors from LPG Light-duty Vehicles with MOBILE 6.2

WU Da-lei, LIN Yi-qing, PENG Mei-chun, JIANG Wen-ming, WANG Xian-feng  
(Guangdong University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510090, China)

**Abstract:** Based on the function of MOBILE 6.2 on calculating the emissions factor of natural gas vehicles, its feasibility was analyzed on calculating the emission factor of liquefied petroleum gas (LPG) light-duty vehicles. According to the results of VMAS test on LPG taxis, the parameter needed for MOBILE 6.2 was obtained to calculate the emission factor of the experimental fleet. Compared with the measured results, the margin of error was in the range of 10 percent to prove MOBILE 6.2 could apply in calculating the emission factor of LPG light-duty vehicles.

**Key words:** Emission factor; LPG taxis; VMAS test; MOBILE 6.2 mobile source emission model

MOBILE 系列模型是美国环境保护署 (EPA) 开发, 用于预测车队 (fleet) 排放水平的计算模型。MOBILE 6.2 是该模型的最新版本<sup>[1-2]</sup>。文献 [3-7] 对该模型的修正、敏感性、适用性等方面做了较深入的研究, 并对我国几大城市机动车排放因子进行了预测<sup>[8-12]</sup>。国内利用 MOBILE 模型主要针对以汽油、柴油为燃料的各种车型, 对燃气汽车的预测还不多见。随着燃气汽车的逐步推广, 计算其排放因子、评估其在降低机动车排放上的功用就尤为重要。

### 1 MOBILE 6.2 预测 LPG 汽车的排放因子

MOBILE 6.2 可以预测汽油、柴油、天然气和零排放汽车等 4 种汽车的排放因子, 其中对汽油和柴油车使用最多。美国 1990 年《清洁空气法案》的修正案中要求空气中 CO 含量高的州必须制定“清洁车队计划”<sup>[13]</sup>, 为了评估使用清洁燃料对整体车

队排放因子的影响, MOBILE 模型加入了天然气 (NG) 和零排放 2 种清洁能源汽车的预测功能, 天然气包含了压缩天然气 (CNG) 和液化天然气 (LNG) 两种形态。

在使用 MOBILE 6.2 对天然气汽车进行预测时, 用户可定义 1994 年—2050 年 28 类车型天然气汽车的比例, 自定义天然气汽车的零千米排放值 (Zero Kilometer Level, ZKL)、劣化率 (Deterioration Rate, DR) 及高排放值 (High-Emitter, HE) 等决定车辆基本排放因子的重要参数。模型将把这两种燃料汽车与汽油车、柴油车加以区分, 以此来评估在使用清洁燃料时对整体车队排放因子的影响。用户也可以把清洁燃料车队的比例设定为 100%, 用

收稿日期: 2008-08-25; 修订日期: 2008-11-13

基金项目: 广州市新能源汽车区域化运行考核与应用技术研究基金资助项目 (2006AA11A1C7)

作者简介: 吴大磊 (1984—), 男, 河南扶沟人, 硕士研究生, 研究方向为汽车节能与排放。

以研究清洁燃料车队的排放因子,现在采用的就是这种设定。

MOB LE6 2 对天然气汽车的排放预测主要采取等同与其排放标准相对应的汽油、柴油燃料的超低排放汽车的方法,如 MOB LE6 2 对轻型天然气汽车的预测就等同于预测对应超低排放的轻型汽油车。天然气汽车与超低排放汽车排放的对应标

准的制定来源于 EPA、美国天然气协会及天然气工厂提供的天然气汽车排放测试的数据及 EPA 对于超低排放车辆排放的认定标准<sup>[14]</sup>。轻型天然气汽车 ULEV - LDV、ULEV - LDV 1~4 的车型对应 MOB LE6 2 中的第 1 类—第 4 类车型。EPA 对轻型天然气汽车的零千米排放值、劣化率及高排放值的建议值见表 1。

表 1 轻型天然气汽车的零千米排放值、劣化率及高排放值

排放值	ULEV - LDV /LDT1			ULEV LDT 2			ULEV LDT3/4		
	NO <sub>x</sub>	CO	NMHC	NO <sub>x</sub>	CO	NMHC	NO <sub>x</sub>	CO	NMHC
零千米排放值 $Q/(g \cdot km^{-1})$	0.083	0.010	0.416	0.166	0.013	0.573	0.249	0.029	0.650
劣化率 $[g \cdot (km \cdot 10^4 km)^{-1}]$	0.003	0.001	0.091	0.001	0.001	0.109	0.009	0.002	0.109
高排放值 $Q/(g \cdot km^{-1})$	0.463	0.043	3.625	0.619	0.044	3.690	0.769	0.050	3.690

考虑到今后天然气汽车的推广及燃气汽车排放标准的限值将进一步降低,利用等同超低排放车辆的排放标准已不能满足需要,MOB LE6 2 允许用户自定义天然气汽车的零千米排放值、劣化率及高排放值,以准确预测燃气汽车的排放。由于 MOB LE6 2 预测燃气汽车排放因子时所采用的运行循环修正因子、速度修正因子、IM 制度的修正因子等均等同了相应的汽油或柴油燃料的超低排放车辆,故其计算过程与修正公式与所对应的汽油车或柴油车基本相同。

液化石油气汽车与天然气汽车均属于清洁燃料汽车,在 MOB LE6 2 中的等同关系与天然气汽车相同,对应的修正因子均等同于模型对超低排放汽油车或柴油车的修正因子。故 MOB LE6 2 对天然气汽车的预测功能便可以运用到对液化石油气汽车排放因子的预测上。现采取 VMAS 实测数据确定出 LPG 出租车的零千米排放值、劣化率及高排放值,替代 MOB LE6 2 模型中天然气汽车的零千米排放值、劣化率及高排放值,便可预测出 LPG 出租车的排放值,该方法也得到了 EPA 的肯定。

值得注意的是,MOB LE6 2 对天然气汽车的部分修正因子并不完全与汽油车和柴油车相同,例如由于缺少足够的实测数据,温度变化对天然气汽车的排放影响还存有争议,MOB LE6 2 没有引入温度对排放影响的修正因子;重型车测试循环并没有包含对重型天然气汽车发动机的测试,故 MOB LE6 2 对重型天然气汽车的预测没有引入测试循环修正因子;MOB LE6 2 中天然气汽车的蒸发

排放为零<sup>[14]</sup>。由于 MOB LE6 2 中对清洁燃料汽车采用修正因子等同的原则并且不允许用户对燃气的成分进行定义,故 MOB LE6 2 在预测燃气汽车上仍有一定的局限性。

## 2 实验车辆选择、排放检测设备与方法

实验车辆选取我国某城市 28 台某品牌 1.8 L 的 LPG 改装出租车(简称实验车队),车辆基准质量为 1 535 kg,整备质量为 1 810 kg,均采用贝特尼 LPG 系统。检测设备采用 VMAS 系统,该设备是美国 Sensor 公司开发的用于检测在用汽车气体排放总质量的低价位测试设备,系统主要包括稀释排气流量计和 AMB 5 气分析仪<sup>[15]</sup>。在 2005 年颁布的《点燃式发动机汽车排气污染物排放限值及测量方法(双怠速及简易工况法)》(GB 18285 - 2005)国家标准中规定了在用车排放检测的几种方法,提出使用 VMAS 系统进行简易瞬态排放测试的技术要求<sup>[16]</sup>。测试循环包含 15 个工况,平均车速为 19 km/h,有效行驶时间为 195 s,理论行驶距离为 1.013 km。

依据《确定点燃式发动机在用汽车简易工况法排气污染物排放限制的原则与方法》(HJ/T 240 - 2005)中规定的简易瞬态工况法排气污染物排放限值对试验结果进行判定<sup>[17]</sup>。该检测方法可以检测汽车气态排气污染物的排放值,即单位里程的排放质量。测试循环中包括了怠速、加速、匀速及减速各种工况,能较准确反映汽车实际排放特征,与新车排放测试结果的相关性高,误判率低,能

够检测 CO, HC, NO<sub>x</sub>, 检测结果为单车排放值, 单位为 g/km。

### 3 MOB LE6 2 输入参数的确定

MOB LE6 2 要求输入燃气汽车的 3 种污染物的零千米排放值、劣化率及高排放值。根据实验车队的 VMAS 检测数据, 可以得出 LPG 出租车零千米排放值、劣化率及高排放值参数, 然后用适合该市出租车实际运行状况的参数 (包含外部条件影响参数、车队特征参数、活动强度参数及维修保养参数等) 替代 MOB LE6 2 默认参数, 便可以预测出该实验车队的排放值及该城市 LPG 出租车排放值。

#### 3.1 实验车队零千米排放值、劣化率及高排放值的确定

取实验车队中行驶里程最少的车辆 ( $1.06 \times 10^4$  km) 的排放值为零千米排放值, 取 3 种排放污染物的最高排放值为高排放值, 为了找出 3 种污染物排放劣化率, 将实验车队车辆按行驶里程从  $8 \times 10^4$  km 起, 每  $10^4$  km 为 1 段, 共 6 段, 每段行驶里程对应的污染物排放值用该段中所有车辆污染物排放的均值来表示, 每段行驶里程与排放值关系见图 1。

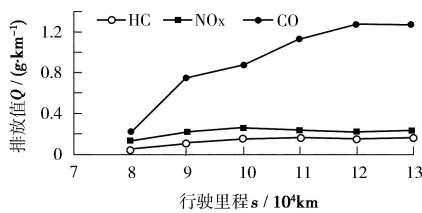


图 1 LPG 出租车行驶里程与排放因子关系

车辆的 3 种污染物排放值随着行驶里程的增加而变化。污染物的平均增加值, 即为该污染物的劣化率, 单位为  $\text{g}/(\text{km} \cdot 10^4 \text{ km})$ 。3 种污染物的实验车队的零千米排放值、劣化率及高排放值见表 2。

表 2 LPG 出租车实验车队零千米排放值、劣化率及高排放值

排放因子	CO	HC	NO <sub>x</sub>
零千米排放值 $Q / (\text{g} \cdot \text{km}^{-1})$	0.190	0.110	0.170
高排放值 $Q / (\text{g} \cdot \text{km}^{-1})$	4.460	1.010	0.650
劣化率 $/ [\text{g} \cdot (\text{km} \cdot 10^4 \text{ km})^{-1}]$	0.130	0.034	0.047

#### 3.2 输出类型

定义 LPG 出租车输出类型为 CO、HC、NO<sub>x</sub>。

#### 3.3 车龄分布

根据调研, 该市 LPG 出租车车龄分布与实验车队车龄分布见表 3。

表 3 城市 LPG 出租车和实验车队车龄分布

车龄 / a	1	2	3	4	5
LPG 出租车 / %	37	40	11	6	6
实验车队 / %	100	0	0	0	0

#### 3.4 LPG 汽车比例

LPG 出租车对应模型中第一类车型, 取第一类车型 2003 年—2050 年所占车队的比例为 100%。

#### 3.5 年平均累积里程

经调研取 LPG 出租车年平均行驶距离为  $12 \times 10^4$  km。

#### 3.6 LPG 出租车平均运行速度

取 LPG 出租车平均运行速度为 45.48 km/h。

#### 3.7 外部环境指令

评价年为 2008 年, 评价月为 7 月, 取夏季最高最低气温为 25 ~ 38, 取低纬度; 绝对湿度取 80%; 云覆盖率为 0.5; 日出日落时间取 6:00 和 19:00 时, 每天日晒高峰期时间段取 10:00—16:00。

#### 3.8 检查维护制度

该市实行年检制度, 实施双怠速检测, 人工控制测试及维修。IM 计划的失败率取 10%, 通过率为 85%, 检查覆盖全部车龄, 无免检车辆。HC、CO、NO<sub>x</sub> 排放物的纠正率都为 80%。

以上数值均需转化为模型默认的单位。

### 4 结果对比与分析

#### 4.1 实验车队排放因子

利用 MOB LE6 2 对 LPG 出租车实验车队预测的结果与实验车队 VMAS 实际测试结果的平均值比较见图 2。

从结果来看, MOB LE6 2 预测实验车队的排放因子 CO、HC、NO<sub>x</sub> 与实验车队实测均值误差分别为 -6.8%、10% 和 4.4%, 可见利用 MOB LE6 2 预测 LPG 轻型汽车排放具有良好的适用性。也有学者通过利用不同车型汽油、柴油燃料车辆的实测值与 MOB LE 模型预测结果进行比较, 平均误差为

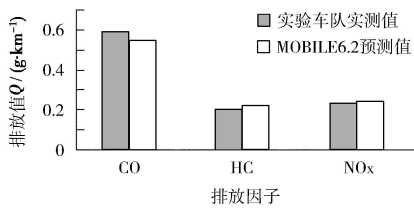


图 2 实验车队实测值与模型预测排放值的比较

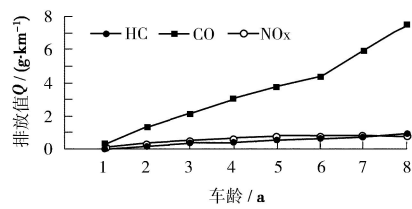


图 4 车队车龄分布与排放值关系

50% ~ 300%<sup>[18-19]</sup>。MOB LE 系列模型是用于宏观尺度的道路机动车排放因子计算模型,其预测值代表了不同车型、不同技术年代、不同控制措施等车辆组成的全体车队的综合排放水平,这显然与单车排放水平存在较大差异。

但是实验车队的 VMAS 实测值亦不能完全代表该市 LPG 出租车总体排放水平,一是由于实验车队的车龄没有覆盖该市所有 LPG 出租车车龄 (1 a ~ 5 a),二是实验车队的测试过程采用的工况与该市实际工况也有差异,测试工况的不同会对结果产生较大影响<sup>[20]</sup>。

### 4.2 城市 LPG 出租车排放值预测

将表 2 中的参数代入 MOB LE6 2,同时将车龄分布、年平均累积里程、平均车速等适合该市 LPG 出租车的参数输入模型,得到该市 LPG 出租车排放值,其与实验车队测试结果比较见图 3。

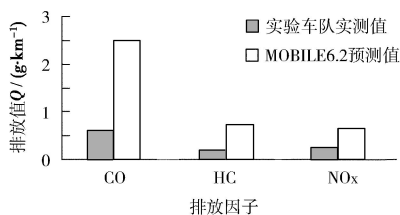


图 3 实验车队实测值与模型预测排放值的比较

MOB LE6 2 预测该市 LPG 出租车 CO、HC、NO<sub>x</sub> 排放值都比实验车队实测值高的多。一是因为实验车队的 VMAS 实测值不能完全代表该市 LPG 出租车总体排放水平;二是因为实验车队均由车龄为 1 a 的新车组成,车龄覆盖范围较小,车辆排放较低,而该市 LPG 出租车车龄覆盖范围较大(见表 3)。分别把车队车龄的覆盖范围从 1 a 到 8 a 代入 MOB LE6 2,以此来研究车队车龄的分布大小对车队排放的影响,见图 4。

由图 4 可见,随着车队车龄的增大,车队 3 种污染排放物的排放值也随之增大。另外,由于车辆

出厂时间不同,车队存在不同排放控制水平的车辆,机动车排放控制水平是影响排放的最重要的因素,表现为机动车在标准工况下的零千米排放值。

在其他参数不变的情况下,改变 MOB LE6 2 的零千米排放值输入参数,得到零千米排放值与各污染物排放值的关系,零千米排放值减少 16.7%,车队排放因子 HC、CO 和 NO<sub>x</sub> 将分别减少 14.5%、9.2% 和 13.9%,见图 5。

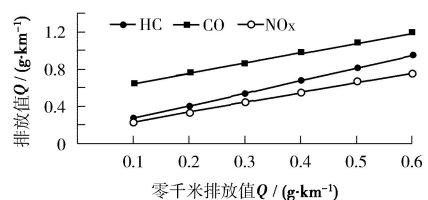


图 5 零千米排放值与排放值关系

## 5 结论

理论分析与模型预测均表明 MOB LE6 2 在预测 LPG 轻型汽车上具有良好的适用性。模型预测结果较好地反映了车队整体的排放水平。车队车龄增大将导致车队排放值的增加。所以控制车队的车龄,及时更换超龄车辆,保持车队年轻化,有助于车队排放值的降低。

### [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] US Environmental Protection Agency. User's Guide to MOB LE6. 1 and MOB LE6. 2: Mobile Source Emission Factor Model [S]. Washington, DC: USEPA, 2002: 9 - 18.
- [3] 傅立新,贺克斌,何东全,等. MOB LE 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.
- [4] 傅立新,郝吉明,何东全,等. 北京市机动车污染物排放特征 [J]. 环境科学学报, 2000, 21 (3): 68 - 70.
- [5] 吴焯,郝吉明,傅立新,等. 澳门机动车排放清单 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2002, 42 (12): 1601 - 1604.

(下转第 66 页)

流畅,有较强的逻辑性。同时,应具有很强的针对性和可操作性。在编写方法上,可把事故情景演变过程作为演习脚本编排的顺序,也可按应急监测工作响应程序编排。总的要求是要使参演人员得到一次实战锻炼,获得提高。

### 2.1 按响应程序编写脚本

突发环境事件应急一般包括预案启动、应急待命、应急响应、应急终止等程序与步骤,应急监测演习脚本可以按此程序与步骤把演习任务分别进行描述。主要描写各个演习阶段起止时间、场景布置、人员动作、情景解说等内容。该演习脚本多适合综合演练。例如:某化工厂发生火灾,并引发环境污染事故,环保局(市或县)应急办公室命令启动应急预案,环境监测站按照制定的《突发环境事件应急监测预案》做出应急响应,就可以按应急准备、赶赴现场、实施监测、应急终止、后期监测工作程序与步骤等编写演习脚本。

### 2.2 按事故情景编写脚本

以设计的事故情景演变为主线,是应急监测演习脚本编写的一种方法。有的环境污染事故演变很快,极短时间内就可能发展到严重状态。因此,应急监测演习脚本编写可以直接对事故情景下的某项监测演习动作编排,对预案的某个部分或环节重点演练,同样可以达到锻炼队伍,提高对突发环

境事件应急响应能力的目的。其演习动用人力物力少,牵扯面小,灵活机动,效率高,很适合单项演练。

### 3 结语

突发环境事件具有复杂性、偶然性和不可预见性。因此,应急监测预案需要不断修订完善,演习脚本也要模拟各种可能发生的环境事故情景编写不同版本(如单项演练、综合演练等)供演习使用。平时的演练越逼真,在真正的危机来临时所受到的损害就越小<sup>[5]</sup>。

#### [参考文献]

- [1] 邱祖楠. 完善应急监测网络 提高环境管理能力 [J]. 环境监测管理与技术, 2008, 20(2): 4 - 6.
- [2] 宋笑飞. 突发环境事件应急监测的问题分析及对策初探 [J]. 环境科学与技术, 2007, 30(1): 58 - 60.
- [3] 钱江, 杨伟. 江苏省突发性环境污染事故应急监测支持系统建设框架 [J]. 环境监测管理与技术, 2001, 13(5): 1 - 3.
- [4] 李慧敏. 对突发性重大环境污染事故应急监测的探讨 [J]. 环境科学与技术, 2005, 28(B12): 151 - 152.
- [5] 万本太. 突发性环境污染事故应急监测与处理处置技术 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996.

本栏目责任编辑 薛光璞 陈宝琳

(上接第 49 页)

- [6] 任小平. 基于 MOB LE6. 2 模型的西安市机动车综合排放因子研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2006: 15 - 50.
- [7] 马因韬, 雷国强, 李潭峰, 等. 机动车排放模型的应用及其适用性比较 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2007, 2(3): 1 - 10.
- [8] 祝昌建. 广州市机动车尾气排放系数及污染趋势探讨 [J]. 中国环境科学, 1997, 17(3): 216 - 219.
- [9] 刘恩栋. 武汉市机动车排放因子的确定 [J]. 环境与开发, 2000, 15(3): 36 - 37.
- [10] 余慧. 武汉市机动车排放清单研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007: 58 - 63.
- [11] 李铁柱. 城市交通大气环境影响评价及预测技术研究 [D]. 南京: 东南大学, 2001: 13 - 26.
- [12] 郭慧, 张清宇, 施耀, 等. 杭州市区机动车危险气态污染物排放的模型计算 [J]. 浙江大学学报(工学版), 2007, 41(7): 1223 - 1228.
- [13] 傅立新. 欧洲及其他国家机动车排放法规手册 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2000: 244 - 250.
- [14] GLOVER E L, KREMER J C. MOB LE6 emission factors for natural gas vehicles: mobile source emission factor model [S]. Washington, DC: USEPA, 2001: 2 - 10.
- [15] 俞明, 孙国斌, 蔡锐彬, 等. 用 Vmas 测量汽车有害气体排放 [J]. 公路交通科技, 2002, 19(6): 181 - 183.
- [16] 国家环境保护总局. GB 18285 - 2005 轻型汽车污染物排放限值及测量方法(双怠速法及简易工况法) [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005.
- [17] 国家环境保护总局. HJ/T 240 - 2005 确定点燃式发动机在用汽车简易工况法排气污染物排放限制的原则与方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [18] 郭淑霞, 于雷, 宋国华. 重型柴油车实测排放因子和 MOB LE6 预测值的对比分析 [J]. 安全与环境工程, 2007, 14(2): 17 - 21.
- [19] 王文, 于雷, 刘娟, 等. 中巴车实测排放因子和 MOB LE6 预测值的对比分析 [J]. 交通环保, 2005, 26(3): 40 - 43.
- [20] 王文涛, 彭美春, 周桂添, 等. 在用汽油车瞬态排放测试工况的相关性 [J]. 环境监测管理与技术, 2005, 17(6): 36 - 39.