

机动车排放车载实验及模型模拟研究

胡京南¹, 郝吉明¹, 傅立新¹, 吴焯¹, 王志石², 邓宇华²

(1. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084, E-mail: hujingnan00@mails.tsinghua.edu.cn; 2. 澳门大学科技学院, 澳门)

摘要: 研究机动车的排放特征及获得排放因子, 是建立机动车排放清单和制定相应控制策略的基础, 而路上的机动车排放车载测试被认为是实验室台架测试的一个重要补充。本研究利用 AVL DiGas 4000 light 五气分析仪, 在澳门典型路段上对 7 辆汽油轿车样本开展了尾气排放车载实验。研究发现安装电喷加三元催化转化系统的车辆(以下称电喷车)在气态污染物排放上比旧的化油器车有显著降低, 化油器车 HC、CO 和 NO 排放的体积浓度平均值分别为 227×10^{-6} 、1.57% 和 1477×10^{-6} , 而电喷车则分别为 33×10^{-6} 、0.21% 和 131×10^{-6} , 约是前者的 1/11 ~ 1/7。但电喷车在冷启动阶段会出现高排放; 对电喷车的 CO 和 NO 排放浓度做算术平均, 其绝对值主要由出现频率少的高浓度值所贡献。研究进一步估算了汽油轿车的排放因子, 同时利用 MOBILE5 模型计算了澳门 2000 年汽油轿车的平均排放因子, 模型计算值和实验数据估算结果的比值在 59% ~ 139% 之间, 如果仅比较年平均排放因子, 这个比值则在 68% ~ 132% 之间。结果表明, 车辆采用电喷加催化转化系统, 对控制污染物排放的作用显著, 但催化设备存在冷启动时起燃缓慢的问题; 对电喷车的技术改进, 减少其在行驶过程中出现高浓度的污染物排放, 将能进一步大大降低平均排放水平; 应用修正的 MOBILE5 模型计算澳门地区汽油轿车的排放因子, 结果是比较可信的。

关键词: 汽油轿车; 车载实验; 排放因子; MOBILE5; 澳门

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2004)03-0019-07

Study on On board Measurements and Modeling of Vehicular Emissions

HU Jing-nan¹, HAO Ji-ming¹, FU Li-xin¹, WU Ye¹, WANG Zhi-shi², TANG Yu-wa²

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Faculty of Science and Technology, Macao University, Macao SAR, China)

Abstract: It's a basic work to study the characteristics of vehicular emissions and give emission factors for development of vehicular emission inventory and decision making of the control strategies. On-board emission measurements of on-road vehicles are regarded as important complementary to emission laboratory dynamometer tests. On-board exhaust emission measurements were conducted on seven samples of gasoline cars in a typical road in Macao, using AVL DiGas 4000 light five-gas analyzer. It was found that there was an obvious reduction of gaseous pollutant emissions from cars equipped with electronic fuel injection and three-way catalytic converter system (referred to as EFI cars in the following), compared to old carburetor cars. The average volume concentrations of CO, HC and NO of carburetor cars were 227×10^{-6} , 1.57% and 1477×10^{-6} , respectively, while those of EFI cars were 33×10^{-6} , 0.21% and 131×10^{-6} , which were about 1/11 through 1/7 of the former. However, there were high emissions during the cold start of EFI cars. The arithmetical mean concentrations of CO and NO emissions of EFI cars were calculated and their absolute values were predominantly contributed by high concentrations with low frequency. Furthermore, the emission factors of gasoline cars were estimated by test data, and at the same time, MOBILE5 model was used to calculate average emission factors of gasoline cars in Macao in 2000. The ratios between the results calculated by model and estimated by experiment data were in the range of 59% ~ 139%, which would narrow into 68% ~ 132% if only annual average emission factors were compared. The results suggest that EFI + TWC systems equipped in vehicles have good effect on the emission reduction, but catalytic converters are not activated during the cold start. Technical improvement of EFI cars, which could reduce the occurrence of high emissions with low frequency during the operation, would decrease their average level on exhaust emissions a lot. Furthermore, it's reliable that the emission factors of gasoline cars in Macao calculated by modified MOBILE5 model.

Key words: gasoline car; on-board measurement; emission factor; MOBILE5; Macao

随着机动车保有量的不断增加, 机动车排放污染及其对大气环境和人体健康造成的不利影响日益受到世界各国的关注。为建立机动车的排放清单和制定合理有效的排放控制策略, 研究机动车的尾气排放特征及其排放因子是必要的基础工作。机动车尾气排放特征与车辆参数、运行状况和环境条件等

有着密切的关系, 机动车排放控制技术和劣化率、车辆行驶速度和加速度、环境温度和湿度、燃料性质等

收稿日期: 2003-05-23; 修订日期: 2004-01-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(40045015)

作者简介: 胡京南(1978-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为大气污染控制。

都会对尾气排放造成影响^[1],甚至驾驶员的驾驶习惯也会在很大程度上影响车辆的排放,比利时 Flemish 技术研究所(VITO)在1995年进行的排放车载实验表明,冲动的驾驶方式下,车辆排放最高达到常规方式的4倍^[2],而美国加州大学 Davis 分校的实验也有相同的结论,并且驾驶方式对 HC 和 CO 排放的影响比 NO_x 排放要大^[3].为了测试机动车的排放水平,很多国家都开发和制定了标准的测试规程,在实验室中利用底盘测功机模拟车辆的工作状况.多数人对用实验室测试数据代表实际排放提出质疑:①非常少的样本,能否真实反映数量巨大的在用机动车的平均排放水平?②实验室测试多采用维护较好的车辆,可能低估了总体的排放水平;③标准的驾驶循环不能反映实际情况下所有可能的驾驶模式^[4].

近年来,越来越多的研究转向开展路上实际行驶条件下的机动车排放测试,主要有道路截面的遥感监测、车载实验、隧道实验和路边采样分析等.遥感监测能够在短时间内获得大量的机动车排放数据,弥补了实验室台架测试中样本数的不足,同时也易于发现路上行驶的高排放车辆;但它限于静态的道路截面监测,无法获得机动车在实际运行条件下排放随车速和加速度的动态变化情况.车载实验则恰好能获得实际运行中所有可能的驾驶模式下车辆的排放数据,成为实验室台架测试的重要补充;但由于它操作难度大,耗时较长,样本数量也非常有限^[3-8].

1 实验方法和计算原理

1.1 机动车排放车载实验

研究采用 AVL DiGas 4000 light 五气分析仪对 7 辆汽油轿车样本进行了实际运行工况下尾气排放的车载实验,测试的污染物包括 HC、CO、NO 和 CO₂,浓度分别以 10⁻⁶(体积,正己烷当量)、0.01%(体积)、10⁻⁶(体积)和 0.1%(体积)的形式记录.实验的行驶路线为:从位于青洲坊北的澳门车辆检测场,经关闸,沿马场北大马路而下,在行驶至约 2km 处的环岛(东北大马路和友谊桥大马路交界处)折返,顺原路开回车辆检测场,路线总长约 4km.车辆在道路上的行驶状况为:下坡→转弯(180度)→上坡→下坡→平路(车速基本稳定在 50km·h⁻¹)→环岛转弯(180度)→平路(车速基本稳定在 30km·h⁻¹)→上坡,车速的变化范围为 0~60 km·h⁻¹.每辆车在一天内先后进行 2 次平行实验,每次实验历时约 5 min,第 1 次实验为冷启动,第 2 次实验在第 1 次实验结束约 1h 后进行,为热启动.7 辆车的实验中共有 3 位驾驶员参加,但由于采用上述固定的行驶路线和工况设计,并由同一研究人员在副驾驶座进行指导,除每 2 次平行实验的启动情况不同外,7 辆车的主要行驶参数基本保持一致.7 辆轿车的状况见表 1,代表了不同控制水平不同车龄的车辆.实验车辆均使用澳门地区同一品质的汽油.其中车辆 A、B 和 C 的实验在 2000 年 11 月进行,每一次测试人工记录约 20 个时刻的数据,基本平均分布于整个行程中,各段典型的行驶工况都有数据记录.车辆 D、E、F 和 G 的实验在 2001 年 5 月进行,测试中每秒钟自动记录一次数据.

1.2 根据实验结果估算汽油轿车的排放因子

实验中得到的测试数据为机动车尾气排放的污染物浓度,利用(1)式计算其排放因子.

表 1 实验车辆样本的状况

Table 1 Conditions of the sample vehicles for experiments

车辆编号	型号	气缸容积 / cm ³	车重 / kg	制造年份	行驶里程 / km	燃油喷射方式	是否安装三元 催化转化设备
A	MINISUBISHI LANCER 1.3 GL	1298	990	1994	5331	电子喷射	是
B	NISSAN BLUEBIRD	1998	1210	1988	103235	化油器	否
C	TOYOTA COROLLA XLI	1332	1090	1996	44688	电子喷射	是
D	MAZDA 323 1.5L DR SDN M5	1489	1055	1996	50270	电子喷射	是
E	TOYOTA COROLLA GL	1498	1060	1989	50359	化油器	否
F	KIA SPORTAGE MRDI M/T	1998	1494	1997	16814	电子喷射	是
G	MINISUBISHI LANCER 1.5 MX SALOON M/T	1468	1040	1996	40963	电子喷射	是

$$EF_{HC}(g \cdot km^{-1}) = \frac{860}{12} \times \frac{HC/(k \times 10\ 000)}{CO_2 + CO + 6 \times HC/(k \times 10\ 000)} \times F \times \rho \times C \quad (1)$$

$$EF_{CO}(g \cdot km^{-1}) = \frac{280}{12} \times \frac{CO}{CO_2 + CO + 6 \times HC / (k \times 10\ 000)} \times F \times \rho \times C \quad (2)$$

$$EF_{NO_x}(g \cdot km^{-1}) = \frac{484}{12} \times \frac{NO/10\ 000}{CO_2 + CO + 6 \times HC / (k \times 10\ 000)} \times F \times \rho \times C \quad (3)$$

式(1)、(2)和(3)中,HC、CO、NO和CO₂分别是分析仪测得的HC、CO、NO和CO₂浓度,单位如1.1中所述,取每辆车所有测试数据的平均值;F为车辆的油耗系数,这里参考香港理工大学的研究结果^[7]取为9.54 L·(10²km)⁻¹;ρ为汽油的密度,取为0.74kg·L⁻¹;C为汽油的含碳质量百分比,这里取标准车用汽油的值86.6%^[9];k为分析仪采用不分光红外法(NDIR)测量HC浓度时,相比火焰离子法(FID)的修正系数,这里取美国丹佛研究所给出的修正值0.493^[3]。此外,由于普通汽油车的尾气排放中NO₂/NO_x=1%~10%,这里取平均值5%,从而由测得的NO浓度估算NO_x排放因子(以NO₂表示)^[10]。

1.3 应用MOBILE5模型计算机动车排放因子

MOBILE5模型^[11,12]是美国环保局推荐使用的道路机动车气态污染物排放因子模型,它根据对大量车辆台架测试数据的统计回归,得到计算机动车气态污染物排放因子的经验公式。

MOBILE5模型认为在一定的环境条件下(如FTP测试工况的标准环境),车辆气态污染物的基本排放因子BEF(单位为g·km⁻¹)与其行驶里程M_C(单位为10⁴km)的关系为:

$$BEF = ZML + DR \cdot M_C \quad (4)$$

表2 车载测试得到的汽油轿车尾气排放污染物浓度¹⁾

Table 2 Pollutant concentrations in gasoline car exhaust emissions by on-board measurements

车辆编号	HC/10 ⁻⁶			CO/%			NO/10 ⁻⁶		
	最大值	平均值	标准方差	最大值	平均值	标准方差	最大值	平均值	标准方差
A	281	44	62	3.67	0.35	0.67	292	57	72
B	345	197	43	3.87	1.83	0.84	3308	2121	770
C	55	20	15	0.29	0.05	0.07	579	84	134
D	490	33	67	2.30	0.07	0.20	1131	54	142
E	1482	256	209	3.46	1.30	0.54	2127	833	437
F	82	10	9	1.43	0.06	0.16	2007	104	235
G	313	56	51	7.97	0.51	1.10	2702	356	422

1) 由于设备的原因,车辆E测试2的后200s数据和车辆F测试2中间的60s数据遗失,车辆G只进行了一次试验。

(1) 澳门地区排放控制水平不同的车辆在实际运行工况下污染物的排放浓度差别很大。澳门从1995年开始强制实施相当于91/441/EEC指令(欧洲1号)的轻型汽油车排放标准,以后销售的新车均需采用燃油电子喷射技术和三元催化转化系统。对

式(4)中,ZML为0公里时车辆的排放因子(单位为g·km⁻¹);DR为排放因子劣化率(单位为10⁻⁴g·km⁻²)。

车型*v*的综合排放因子由(5)式计算得到:

$$EF_v = (BEF + B_T - B_{IM}) \cdot C_R \cdot C_O \cdot C_S \cdot C_A \quad (5)$$

式(5)中,B_T为部件损坏造成的排放增加;B_{IM}为实施I/M制度带来的排放削减;C_R为燃料饱和和蒸气压修正因子;C_O为温度工况联合修正因子;C_S为速度修正因子;C_A为使用空调、拖车、超载以及湿度的综合修正因子。

在澳门地区应用MOBILE5模型计算机动车的气态污染物排放因子时,必须根据当地车辆的实际情况对机动车排放控制技术水平、机动车年代登记分布和年均行驶里程分布、车用油品各项参数和其它相关的输入参数进行相应的调整^[1]。

2 结果与讨论

2.1 机动车排放车载实验数据分析

对7辆汽油轿车样本的排放车载测试数据进行统计,得到各辆车HC、CO和NO排放浓度的最大值、平均值和标准方差,见表2。

从表2可以看出:

5辆采用电喷技术加催化转化系统的汽油轿车(车辆A、C、D、F和G)和2辆无催化转化系统的化油器车(车辆B和E)的车载排放测试结果进行比较,前者的HC、CO和NO排放都要低很多。化油器车HC、CO和NO排放的体积浓度平均值分别为227

$\times 10^{-6}$ 、1.57%和 1477×10^{-6} ，而电喷车则分别为 33×10^{-6} 、0.21%和 131×10^{-6} ，约是前者的 1/11 ~ 1/7。这说明电喷加催化转化系统在实际运行工况下发挥了很好的效用，采用此技术对控制机动车排放污染是非常有效的。

(2) 比较不同车龄和行驶里程的电喷车，发现车辆 C 和 D 虽然车龄为 4 年和 4.5 年，行驶里程约为 $4.5 \times 10^4 \text{ km}$ 和 $5.0 \times 10^4 \text{ km}$ ，但它们的 HC、CO 和 NO 排放体积浓度的平均值仅分别在 $20 \times 10^{-6} \sim 33 \times 10^{-6}$ 、 $0.05 \times 10^{-6} \sim 0.07\%$ 和 $54 \times 10^{-6} \sim 84 \times 10^{-6}$ 的范围内，这表明车辆 C 和 D 的电喷加催化转化系统在行驶 $4.5 \times 10^4 \text{ km}$ 之后，仍然保持良好稳定的性能，车辆的排放水平很低。车辆 G 的车龄为 6

年，行驶里程约 $4.1 \times 10^4 \text{ km}$ ，其污染物排放，特别是 NO 的排放水平偏高，将车辆 G 和同为 MITSUBISHI LANCER 型号的车辆 A 比较，虽然它们的排量、车重和制造年份接近，但车辆 G 的 NO 排放浓度平均值是车辆 A 的 6 倍多，表明其排放已开始出现劣化趋势。其原因可能是车辆的使用或维护不当。对于采用较先进排放控制技术的车辆，正确的使用和维护是其运行过程中保持低排放水平的重要因素。

图 1 ~ 图 4 是根据车辆 D ~ G 4 辆汽油轿车的车载测试数据作出的污染物排放浓度随时间变化图；车辆 A ~ C 由于是手工记录，数据量较少，没有作时间变化图，下面的排放浓度频率累积分布曲线亦同。

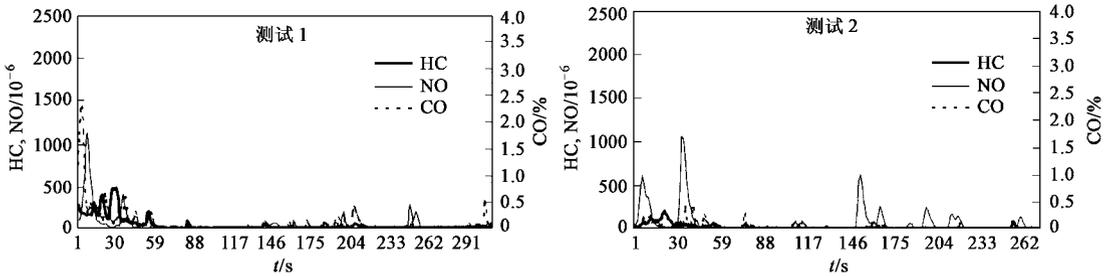


图 1 车辆 D 车载测试的污染物浓度时间变化

Fig. 1 Temporal variation of pollutant concentrations by on-board measurements of Vehicle D

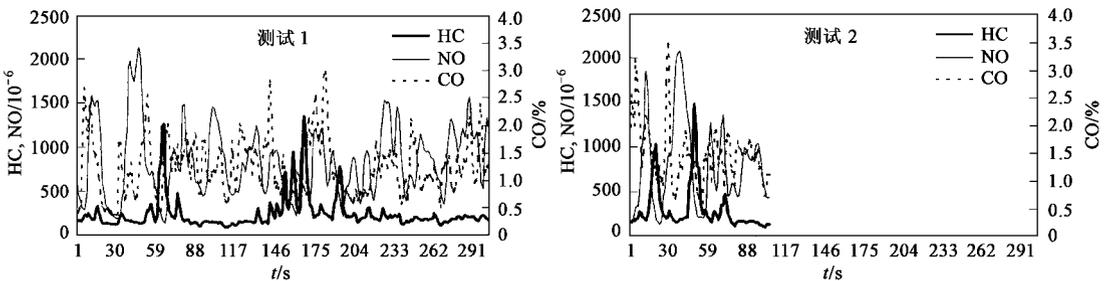


图 2 车辆 E 车载测试的污染物浓度时间变化

Fig. 2 Temporal variation of pollutant concentrations by on-board measurements of Vehicle E

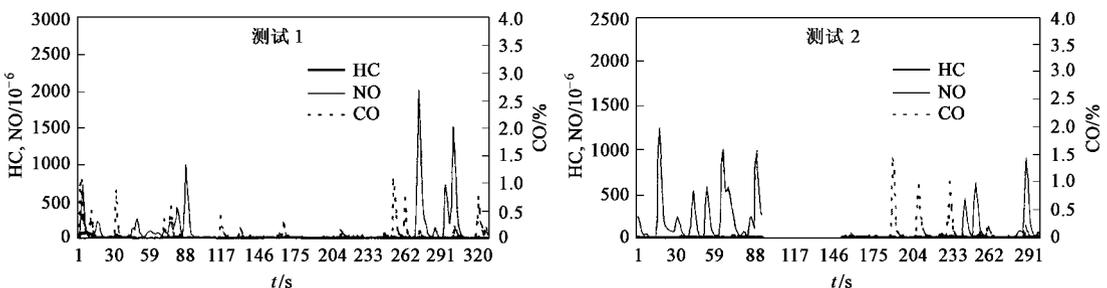


图 3 车辆 F 车载测试的污染物浓度时间变化

Fig. 3 Temporal variation of pollutant concentrations by on-board measurements of Vehicle F

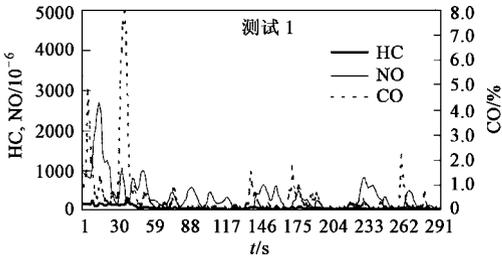


图 4 车辆 G 车载测试的污染物浓度时间变化

Fig.4 Temporal variation of pollutant concentrations by on-board measurements of Vehicle G

从图 1 ~ 图 4,可以得到以下结论:

(1) 除偶尔出现的峰值外,车辆 D 和 F 在整个运行过程中 3 种污染物的排放都很低.车辆 E 自始至终保持较高的排放水平,并呈现不少峰值.车辆 G 的排放水平较车辆 D 和 F 偏高,但除 CO 排放浓度的峰值是车辆 E 的 2.3 倍外,总体排放水平低于车辆 E.这进一步说明车辆 D 和 F 的电喷加催化转化系统呈现良好的性能,在运行过程中发挥了明显的效用,尾气管污染物排放比旧的化油器车有了很大的降低.

(2) 车辆 D、F 和 G 的污染物排放浓度在各次测试的启动阶段都呈现明显的峰值,特别是测试 1.大量的研究表明,车辆在冷启动时,启动阶段的发动机和催化设备温度都较低,导致燃烧不完全和催化转化设备未起作用^[13-15].采取技术上的改进,避免冷启动阶段催化转化设备起燃缓慢的问题发生,将有助于降低机动车的总体排放水平^[16,17].

(3) 从 4 辆车的测试 1 结果中可以看出,冷启动阶段都是最先出现 HC 和 CO 排放浓度的峰值,反映出发动机的温度较低和加速时的富燃状态导致燃烧的不完全.而接下来出现的 NO 排放浓度峰值,以及 7 次车载实验的测试数据中在很多时段都存在 HC 和 CO 的浓度峰值与 NO 浓度峰值交替出现的现象,反映出车辆在行驶时发动机的燃烧状态处于富燃和理论空燃比或贫燃的交替过程^[18].

2.2 污染物排放浓度频率累积分布曲线

对实验中测得的车辆 D~G 的尾气污染物排放浓度进行统计,得到排放浓度的频率累积分布曲线,如图 5~图 7 所示.

累积百分比分布曲线下方和坐标轴围成的面积是各浓度和其出现频率百分比的乘积总和,因此从数值上等于浓度的平均值,由图 5~图 7 和表 2 的结果都可比较各辆车的排放差异.而根据图中曲线

的形状,进一步分析车辆 D~G 的排放构成,得到 HC、CO 和 NO 排放浓度从高到低排列时,前 10% 和 20% 的浓度值对平均浓度的贡献率,列于表 3.

表 3 污染物排放高浓度值对平均浓度的贡献率 / %

Table 3 The contribution rates of high concentration values to the average of pollutant emissions / %

污染物	前 % 的高浓度值	车辆 D	车辆 E	车辆 F	车辆 G
HC	10	61	31	28	32
	20	76	44	41	51
CO	10	58	18	66	57
	20	73	32	79	72
NO	10	66	21	62	37
	20	81	36	79	56

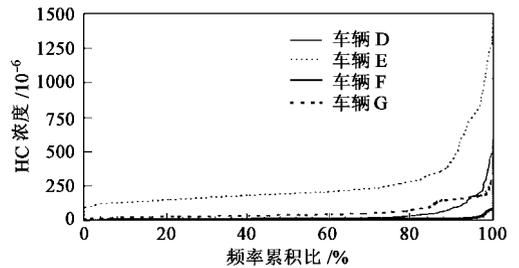


图 5 4 辆汽油轿车的 HC 排放浓度累积百分比分布曲线

Fig.5 Accumulating percentile distributions of HC concentrations of the four gasoline cars

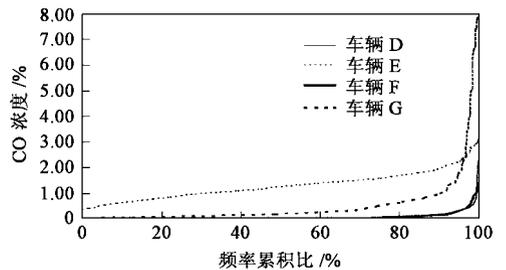


图 6 4 辆汽油轿车的 CO 排放浓度累积百分比分布曲线

Fig.6 Accumulating percentile distributions of CO concentrations of the four gasoline cars

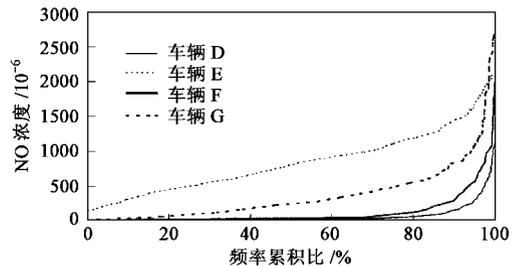


图 7 4 辆汽油轿车的 NO 排放浓度累积百分比分布曲线

Fig.7 Accumulating percentile distributions of NO concentrations of the four gasoline cars

由图 5 ~ 图 7 和表 3 ,可以得到如下结论:

(1) 比较 HC 排放浓度的累积百分比分布曲线, 车辆 E ~ G 的数值变化幅度虽然相差较大, 但形状比较相似, 测试中这 3 辆车的 HC 排放浓度在高低值的出现频率上接近, 高浓度值对平均浓度的贡献较小. 而车辆 D 的曲线形状和车辆 E ~ G 相差较大, 高浓度值对平均浓度有显著贡献.

(2) 比较 CO 和 NO 排放浓度的累积百分比分布曲线, 电喷车 D、F 和 G 的数值变化幅度虽然相差较大, 但形状比较相似, 测试中这 3 辆车的 CO 和 NO 排放浓度在高低值的出现频率上接近, 高浓度值对平均浓度的贡献显著. 而化油器车 E 的曲线形状和其它 3 辆车相差较大, 高浓度值对平均浓度的贡献较小. 化油器车 E 和电喷车 G 的曲线差异尤为明显, 车辆 G 的曲线走势比车辆 E 陡很多, CO 和 NO 排放浓度的数值变化幅度甚至高于车辆 E, 前 10% 和 20% 的高浓度值对平均浓度的贡献率约是车辆 E 的 2 ~ 3 倍.

(3) 由上可知, 对电喷车的 CO 和 NO 排放浓度做算术平均, 相比排放控制水平较低的化油器车, 其绝对值主要由出现频率少的高浓度值所贡献, 部分电喷车的 HC 排放亦呈现相同规律. 因此, 对电喷车进行技术改进, 减少其在行驶过程中出现高浓度的污染物排放, 如前面提到的采取措施解决冷启动阶段催化转化设备不起作用的问题, 将能进一步大大降低平均排放水平.

2.3 机动车排放因子估算值和模型计算结果比较

根据表 2 中统计得到的各辆汽油轿车 HC、CO 和 NO 排放浓度的算术平均值, 利用 1.2 中的公式 (1) ~ (3), 计算得到车辆 A ~ G 的 HC、CO 和 NO_x 排放因子, 如表 4 中所示.

表 4 由车载实验数据估算的排放因子 / g·km⁻¹

Table 4 Estimated emission factors by data from on board measurements / g·km⁻¹

车辆编号	HC	CO	NO _x
A	0.27	3.47	0.10
B	1.09	16.24	3.25
C	0.13	0.51	0.15
D	0.21	0.71	0.09
E	1.54	12.52	1.39
F	0.06	0.58	0.17
G	0.35	5.06	0.61

根据澳门的车辆年代登记分布数据^[19], 到 2000 年底, 采用电喷加催化转化系统的车辆约占汽油轿车总数的 44%, 剩下为化油器车. 由于车辆 A、

B 和 C 的实验是在 2000 年 11 月进行, 而车辆 D、E、F 和 G 的实验是在 2001 年 5 月进行, 将表 4 中的排放因子进行加权平均, 得到汽油轿车的平均排放因子估算值. 同时, 利用 MOBILE5 模型计算得到 2000 年澳门地区汽油轿车的平均排放因子. 2 种方法得到的结果列于表 5 (由于澳门处于亚热带地区, 在计算年平均排放因子时认为夏季的环境条件在全年中占 2/3 的比重).

从表 5 可以看到, 根据车载实验数据估算的 HC、CO 和 NO_x 排放因子和利用 MOBILE5 计算得到的排放因子比较接近. 模型计算值和实验数据估算结果的比值在 59% ~ 139% 之间, 如果仅比较年平均排放因子, 这个比值则在 68% ~ 132% 之间. 由于根据实验数据估算和利用 MOBILE5 模型计算机动机的排放因子都存在相当的不确定性, 上述结果表明, 由模型计算得到的澳门地区汽油轿车的排放因子是比较可信的.

表 5 2 种方法得到的汽油轿车排放因子比较¹⁾ / g·km⁻¹

Table 5 Comparison between the emission factors of gasoline cars estimated by two methods / g·km⁻¹

方法	时间	HC	CO	NO _x
根据车载实验数据估算	11 月份	0.70	10.01	1.88
	5 月份	0.95	7.97	0.91
	年平均	0.87	8.65	1.23
利用 MOBILE5 模型计算	1 月份	0.93	13.88	1.11
	7 月份	0.72	10.21	0.70
	年平均	0.79	11.44	0.84
模型计算值 / %	1 月份 / 11 月份	133	139	59
实验数据估算值 / %	7 月份 / 5 月份	75	128	77
	年平均	91	132	68

1) 表中用 MOBILE5 模型计算的 HC 排放因子仅为尾气管排放的 HC, 而不是总 HC.

3 结论

(1) 澳门地区排放控制水平不同的车辆在实际运行工况下污染物的排放浓度差别很大. 对 5 辆采用电喷技术加三元催化转化系统的汽油轿车和 2 辆无催化转化系统的化油器车的排放车载测试结果进行比较, 前者的 HC、CO 和 NO 排放都要低很多. 化油器车 HC、CO 和 NO 排放的体积浓度平均值分别为 227×10^{-6} 、1.57% 和 1477×10^{-6} , 而电喷车则分别为 33×10^{-6} 、0.21% 和 131×10^{-6} , 约是前者的 1/11 ~ 1/7. 说明电喷加催化转化系统在实际运行工况下发挥了很好的效用, 采用此技术对控制机动车排放污染是非常有效的.

(2) 车龄在 4 年以上且行驶里程超过 $4.0 \times$

10⁴ km 的电喷车中, 车辆 C 和 D 的排放水平仍然很低, 而车辆 G 的排放劣化趋势较为明显, 其原因可能是使用或维护不当. 对于采用较先进排放控制技术的车辆, 正确的使用和维护是其运行过程中保持低排放水平的重要影响因素.

(3) 电喷车的污染物排放浓度在冷启动阶段都呈现明显的峰值, 反映了冷启动时发动机和催化设备温度都较低, 导致燃烧不完全和后续的催化转化设备未起作用. 采取技术上的改进, 避免冷启动阶段催化转化设备起燃缓慢的问题发生, 将有助于降低机动车的总体排放水平.

(4) 对电喷车的 CO 和 NO 排放浓度做算术平均, 相比排放控制水平较低的化油器车, 其绝对值主要由出现频率少的高浓度值所贡献, 部分电喷车的 HC 排放亦呈现相同规律. 因此, 对电喷车进行技术改进, 减少其在行驶过程中出现高浓度的污染物排放, 将能进一步大大降低平均排放水平.

(5) 根据车载实验数据估算的汽油轿车 HC、CO 和 NO_x 排放因子和利用 MOBILE5 计算得到的排放因子比较接近. 模型计算值和实验数据估算结果的比值在 59% ~ 139% 之间, 如果仅比较年平均排放因子, 这个比值则在 68% ~ 132% 之间. 结果表明, 由模型计算得到的澳门地区汽油轿车的排放因子是比较可信的.

参考文献:

[1] 郝吉明, 傅立新, 贺克斌, 吴焯. 城市机动车排放污染控制 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000. 121 ~ 126, 348 ~ 351.

[2] De Vlieger I, De Keukeleere D, Kretschmar J G. Environmental effects of driving behavior and congestion related to passenger cars[J]. Atmospheric Environment, 2000, **34**(27): 4649 ~ 4655.

[3] Holmen Britt A, Nie-meier Debbie A. Characterizing the effects of driver variability on real world vehicle emissions[J]. Transportation Research Part D, 1998, **3**(2): 117 ~ 128.

[4] Sjoedin Ake, Lenner Magnus. On-road measurements of single vehicle pollutant emissions, speed and acceleration for large fleets of vehicles in different traffic environments[J]. The Science of the Total Environment, 1995, **169**: 157 ~ 165.

[5] Kittelson D B. On-road measurements of spark ignition nanoparticle emissions[C]. 5th ETH Conference on Nanoparticle Measurement, Zurich, 7 August 2001.

[6] De Vlieger I. On board emission and fuel consumption measurement campaign on petrol-driven passenger cars[J]. Atmospheric Environment, 1997, **31**(22): 3753 ~ 3761.

[7] Tong H Y, Hung W T, Cheung C S. On road motor vehicle emissions and fuel consumption in urban driving conditions[J]. J. Air & Waste Manage. Assoc. 2000, **50**: 543 ~ 554.

[8] Christian John, Rainer Friedrich, Johannes Staehelin, Kurt Schlaepfer, Werner A Stahel. Comparison of emission factors for road traffic from a tunnel study (Gubrist tunnel, Switzerland) and from emission modeling[J]. Atmospheric Environment, 1999, **33**: 3367 ~ 3376.

[9] Energy Information Administration, US Department of Energy. Emissions of Greenhouse Gases in the United States 2001[R]. DOE/EIA-0573 (2001/ ES), Washington, DC: US DOE, 2003.

[10] 郝吉明, 马广大. 大气污染控制工程(第二版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002. 438.

[11] US Environmental Protection Agency. User' s guide to MOBILE5. EPA450/4-8-026d(revised)[M]. Washington DC: US EPA, 1992.

[12] 傅立新, 贺克斌, 何东全, 等. MOBILE 汽车源排放因子模式研究[J]. 环境科学学报, 1997, **17**(4): 474 ~ 479.

[13] Westerholm Roger, Christensen Anders, Rosen Ake. Regulated and unregulated exhaust emissions from two three-way catalyst equipped gasoline fuelled vehicles[J]. Atmospheric Environment, 1996, **30**(20): 3529 ~ 3536.

[14] Ludykar D, Westerholm R, Almen J. Cold start emissions at + 22, - 7 and - 20 °C ambient temperatures from a three-way catalyst (TWC) car: regulated and unregulated exhaust components[J]. The Science of the Total Environment, 1999, **235**: 65 ~ 69.

[15] Yoshii Toru, Oyama Koji, Kaneko Takashi, Hamatani Kazumasa, Omata Tatsuo. Effects of gasoline properties on cold start emission characteristic[J]. Abstract/ JSAE Review, 1997, **18**: 199 ~ 200.

[16] Umehara Ken, Tateishi Tetsuya, Nishimura Hirofumi, Misumi Masanori. HC reduction system for cold start and warm-up phases: improvement of catalyst warm-up by retarded ignition[J]. Technical Notes/ JSAE Review, 1997, **18**: 67 ~ 68.

[17] Farrauto Robert J. Catalytic/ trap systems being developed for gasoline hydrocarbon cold start problem[J]. Applied Catalysis B: Environmental, 1996, **8**(3): N30.

[18] De Nevers Noel. Air pollution control engineering(second edition)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000. 447.

[19] 澳门统计与普查局. 澳门统计年鉴(2000)[M]. 澳门特别行政区政府, 2000.