

文章编号:1671-8879(2009)02-0088-06

在用汽车不同测试方法的排放特性

张春化,王奉双,马志义,祁东辉,邱兆文

(长安大学 交通新能源开发应用陕西省重点实验室,陕西 西安 710064)

摘要:为了给在用汽车排放检测地方法规的制定提供科学依据,采用怠速法、双怠速法、ASM(加速模拟工况法)稳态工况法和 IM 195 瞬态工况法对出租车进行了排放测试。对比分析了怠速、双怠速、ASM 和 IM 195 的排放合格率;以 IM 195 为基准,分析了怠速、双怠速和 ASM 的排放有效识别率;研究了不同测试方法下的 CO、HC、NO_x 排放量随行驶里程的变化,通过多项式回归分析得出各种排放污染物随行驶里程的关系。结果表明:以 IM 195 为基准,怠速、双怠速和 ASM 的排放有效识别率分别为 58.70%、67.39% 和 84.78%;行驶里程对排放污染物的影响呈二次曲线关系;行驶里程超过 30×10^4 km 后,各种污染物排放量均显著增加;相对于 10×10^4 km、 70×10^4 km 的 CO、HC、NO_x 排放的平均值分别增加了 23.13 倍、30.94 倍和 18.79 倍。

关键词:汽车工程;在用汽车;排放特性;测试工况;有效识别率;行驶里程

中图分类号:U467.48

文献标志码:A

Emission characteristics of in-use vehicles under different test modes

ZHANG Chun-hua, WANG Feng-shuang, MA Zhi-yi, QI Dong-hui, QIU Zhao-wen

(Key Laboratory for Development and Application of New Transportation Energy of
Shaanxi Province, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to provide scientific reference for drawing up the exhaust pollutants standard of in-use vehicles, this paper studied the exhaust emissions of taxis by means of the following test modes: idle mode, double idle mode, acceleration simulation mode (ASM) steady mode and instantaneous mode (IM) 195. It compares test results under different test modes and calculates the vehicle emissions effective recognition ratios after idle mode, double idle mode, ASM mode relatively to IM 195. It analyzes the relationships between the emission levels of CO, HC, NO_x and vehicles' driving mileages, gains regression equations between driving mileages and emission values. The experimental results show that the effective recognition ratios of idle mode, double idle mode, ASM mode, relatively to IM 195, are 58.70%, 67.39% and 84.78%, respectively. The relationships between driving mileages and emission pollutants are parabolic curves. CO, HC and NO_x emissions are all increased greatly after the mileage is over 30×10^4 km. Compared to CO, HC and NO_x emissions after 10×10^4 km, these emissions after 70×10^4 km are averagely increased 23.13 times, 30.94 times and 18.79 times respectively. 6 tabs, 16 figs, 12 refs.

Key words: automobile engineering; in-use vehicle; emission characteristics; test mode; effective recognition ratio; driving mileage

收稿日期:2008-04-20

基金项目:国家 863 计划项目(2006AA11A1C9)

作者简介:张春化(1963-),男,陕西咸阳人,教授,博士研究生导师,工学博士,E-mail:zch@chd.edu.cn.

0 引言

随着汽车工业的迅猛发展和汽车保有量的增加,汽车排放污染已经成为大气主要污染源之一,特别是在一些大中型城市,汽车排放污染已经成为首要污染源,治理汽车尾气的呼声日益强烈^[1]。中国已于 2005 年 7 月 1 日起正式实施新的在用车排放标准^[2]。近年来,除北京外,各省市也纷纷出台地方排放标准,以加强对在用车的排放控制。随着中国在用车排放治理水平的提高,检测方法由怠速法逐渐过渡到双怠速法,许多地区已采用简易工况法。

相对于新车型认证,在用车的排放测试工况更简单,故常称为简易工况,包括加速模拟工况法(acceleration simulation mode,简称 ASM)、瞬态工况法 IM 195 和简易瞬态工况法(vehicle mass analysis system,简称 VMAS)。ASM 稳态工况法包括 5025、2540 两种测试工况;IM 195 测试工况与目标《轻型汽车污染物排放限值及测量方法》中规定的新车型认证工况的第一阶段的第一个循环工况完全相同,运行时间为 195 s,故称为 IM 195。它包含了怠速、加速、减速和稳速共 15 种工况,较为全面地模拟了车辆在路面的行驶情况。

同一辆车在不同的排放测试工况下,排放也不尽相同^[3-8]。本文通过对比试验,比较和分析了出租车的排放特性、车辆排放水平与行驶里程的关系,为各地区制定地方排放法规提供有力依据。

彭美春等^[9]对车辆排放水平与行驶里程的关系进行了回归分析,但是仅仅停留在线性回归的基础上。本文不仅研究了不同测试工况下行驶里程对车

辆排放水平的影响,而且还对车辆排放水平与行驶里程的关系进行了多项式回归,并进行了回归模型的显著性检验,更直观地呈现了行驶里程对车辆排放状况的影响。

1 试验组织

1.1 试验车辆

本试验以西安市出租车为研究对象,随机抽取检测了 46 辆车,其中包括捷达 FV7160CIX、神龙富康 DC7161EAN、比亚迪 QJC7160A、奇瑞 SQR7160EX 等车型;行驶里程为 $4.7 \times 10^4 \sim 72 \times 10^4$ km;进行了怠速、双怠速、ASM 和 IM 195 共 4 种工况法的排放测试。试验时,车辆燃用汽油。

1.2 试验装置

试验用主要设备有:①AVL-ZOLINER 底盘测功机,由控制计算机、直流电力底盘测功机、转鼓、跟踪风机和控制柜等组成;②临界流文丘里管-定容取样系统(CFV-CVS),由混合三通装置、流量控制装置(临界文丘里管)、负压风机、样气采样柜和 CVS 控制计算机等组成;③组合式排放分析柜 CEB-II,排放气体分析仪分别为不分光红外分析仪(NDIR)、氢火焰离子法分析仪(FID)和化学发光法分析仪(CLD);④AVL4000 五气分析仪。

2 结果与分析

2.1 不同测试方法的排放标准

怠速和双怠速法测试的排放限值采用文献[2];ASM 稳态工况和 IM 195 瞬态工况测试的排放限值采用文献[10]规定的相应车型的最低限值(表 1)。

表 1 各种测试工况的排放限值

测试 工况	低怠速		高怠速		ASM						IM 195	
					ASM 5025			ASM 2540				
	CO/%	HC/10 ⁻⁶	CO/%	HC/10 ⁻⁶	CO/%	HC/10 ⁻⁶	NO _x /10 ⁻⁶	CO/%	HC/10 ⁻⁶	NO _x /10 ⁻⁶	CO/ (g·km ⁻¹)	HC+NO _x / (g·km ⁻¹)
排放物 含量												
限值	0.8	150	0.3	100	1.0	170	1 300	1.1	170	1 200	3.5	1.5

注:怠速和 ASM 的测量值单位为体积分数。

图 1(见下页)给出了 4 种排放测试方法合格率的对比。由图 1 可以看出,ASM 稳态工况和 IM 195 瞬态工况测试的合格率要高于怠速和双怠速法的合格率。为了保证怠速运转平稳和加速时的功率,往往将发动机怠速和加速工况的混合气设计的较浓,因此排放高^[11];ASM 只有 25 km/h 和 40 km/h 两种工况,没有 IM 195 工况排放恶劣。稳态和瞬态工况法相比,二者的测试方法不同,排放污染

物计量单位不同,排放限值也不同,因此可能存在同一辆车用稳态法测试合格而用瞬态法测试不合格的情况。

2.2 不同测试方法的有效识别率

引入车辆排放的有效识别率 ρ 来评价各种方法的相关性,并可以此作为各地采用简易工况法制定地方标准的依据。

$$\rho = \frac{n_+}{n_+ + n_-}$$

(1)

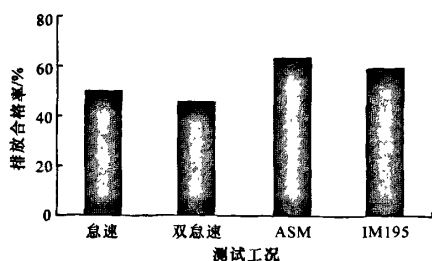


图1 测试工况与排放合格率的关系

式中: n_+ 为识别正确的车辆数; n_- 为误判(把超标车辆判为达标车辆)和错判(把达标车辆判为超标车辆)的车辆数; $n_+ + n_-$ 为车辆总数。

为了求得怠速法、双怠速法、ASM 相对于 IM 195 的车辆排放有效识别率 ρ , 可假设 IM 195 的有效识别率 $\rho = 1$ 。据此可计算出怠速法、双怠速法、ASM 相对于 IM 195 的车辆排放有效识别率 ρ 。各种测试方法的有效识别率见表 2。

表2 各种测试方法的有效识别率

相关数值	测试方法			
	怠速	双怠速	ASM	IM 195
n_+ / veh	27	31	39	46
n_- / veh	19	15	7	0
$\rho / \%$	58.70	67.39	84.78	100

由表 2 可以看出, ASM 的有效识别率最高, 双怠速次之, 怠速最差。在 I/M 制度推行的初期, ASM 法是一种较好的在用车排放检测简易工况法。

2.3 排放与里程关系的分析方法

根据试验数据, 利用抛物线回归分析的方法研究各排放物与车辆行驶里程的关系。对于非线性回归问题, 可以通过变量代换的方法把非线性回归化成线性回归^[12]。

抛物线回归方程为 $\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x + \hat{\beta}_2 x^2$, 采用 F 检验来判断回归模型整体的显著性。

对回归方程的显著性检验等价于对回归系数 $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2$ 是否全为 0 的检验。检验统计量为

$$F = \frac{I_{SSR}/k}{I_{SSE}/(n-k-1)} \quad (2)$$

式中: k 为自变量的个数; n 为样本数; 对给定的显著性水平 α , 拒绝域为 $\{F \geq F_{\alpha}(k, n-k-1)\}$; I_{SSR} 为回

归平方和, $I_{SSR} = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$; I_{SSE} 为残差平方和,

$I_{SSE} = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$, \bar{y} 为 y 的均值。

2.4 排放与里程关系的分析结果

2.4.1 CO 排放与里程的关系

图 2 是低怠速工况 CO 排放与里程的关系, 其中 CO 排放值单位为体积分数, 以下类同。

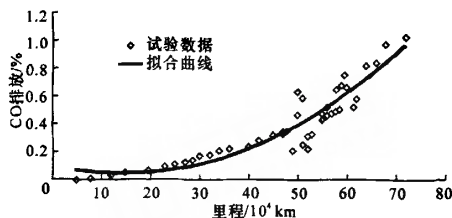


图2 低怠速工况 CO 排放与里程的关系

回归方程为

$$y_{CO} = 0.0003x^2 - 0.0082x + 0.1044 \quad (3)$$

$$R_{CO}^2 = 0.8767$$

式中: x 为车辆行驶里程(10^4 km); y_{CO} 为 CO 的拟合排放值; R_{CO}^2 为判定系数, 也称拟合优度, 表征了回归曲线与测试数据的拟合情况, 以下各式类同。

给定显著性水平 $\alpha = 5\%$, 对回归方程用方差分析法进行显著性检验。对式(3)进行检验, 生成方差分析表(表 3)。

表3 方差分析

方差来源	自由度	偏差平方和	均方和	F 检验
回归分析	2	2.693410	1.346705	152.9291
残差	43	0.378661	0.008806	

$F = 152.9291 > F_{0.05}(2, 43) = 3.24$, 故回归方程显著, 即认为车辆行驶里程对 CO 排放有显著性影响。以下其他各式的检验结果都是显著的。

图 3 是高怠速工况 CO 排放与里程的关系。

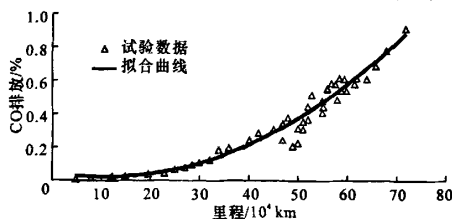


图3 高怠速工况 CO 排放与里程的关系

回归方程为

$$y_{CO} = 0.0002x^2 - 0.0051x + 0.0506 \quad (4)$$

$$R_{CO}^2 = 0.9516$$

图 4(见下页)是 ASM 5025 工况 CO 排放与里程的关系。

回归方程为

$$y_{CO} = 0.0002x^2 - 0.0041x + 0.0401 \quad (5)$$

$$R_{CO}^2 = 0.9721$$

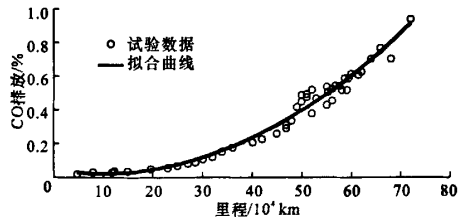


图 4 ASM 5025 工况 CO 排放与里程的关系

图 5 是 ASM 2540 工况 CO 排放与里程的关系。

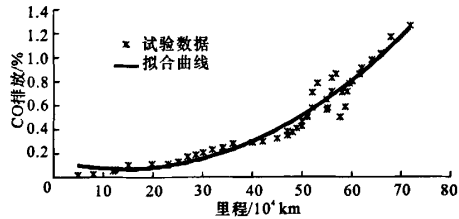


图 5 ASM 2540 工况 CO 排放与里程的关系

回归方程为

$$y_{CO} = 0.0004x^2 - 0.0103x + 0.1362 \quad (6)$$
$$R^2_{CO} = 0.9389$$

图 6 是 IM 195 工况 CO 排放与里程的关系,其回归方程为

$$y_{CO} = 0.0013x^2 - 0.0319x + 0.7451 \quad (7)$$
$$R^2_{CO} = 0.9475$$

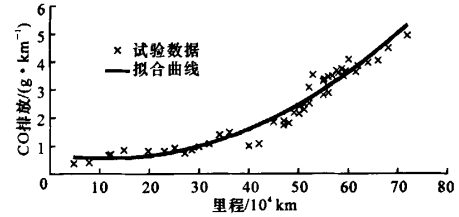


图 6 IM 195 工况 CO 排放与里程的关系

由图 2~图 6 可以看出,里程小于 10×10^4 km 时,CO 排放很小,体积分数均在 0.2% 以下,质量排在 0.8 g/km 以下;里程超过 30×10^4 km 时,CO 排放急剧增加。表 4 是排放变化分析,用其他里程的排放与 10×10^4 km 排放的倍数表示(表 5、表 6 与此类同);IM 195 工况排放增加倍数与其他工况差别较大,主要是由于试验工况的不同。

表 4 CO 排放随里程的变化

里程/10 ⁴ km		10	20	30	40	50	60	70	72
测 试 工 况	低怠速	1	1.15	2.45	4.89	8.48	13.21	19.09	20.40
	高怠速	1	1.47	4.05	8.74	15.53	24.42	35.42	37.87
	ASM 5025	1	2.00	5.11	10.32	17.63	27.05	38.58	41.14
	ASM 2540	1	1.23	2.56	4.96	8.49	13.09	18.79	20.06
	IM 195	1	1.13	1.72	2.79	4.32	6.31	8.78	9.33
	平均值	1	1.40	3.18	6.34	10.89	16.82	24.13	25.76

2.4.2 HC 排放与里程的关系

图 7 是低怠速工况 HC 排放与里程的关系,其中 HC 排放值单位为体积分数,以下类同。

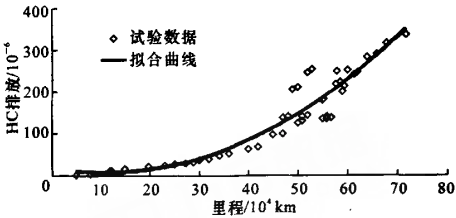


图 7 低怠速工况 HC 排放与里程的关系

回归方程为

$$y_{HC} = 0.0922x^2 - 2.0711x + 19.5613 \quad (8)$$
$$R^2_{HC} = 0.8965$$

图 8 是高怠速工况 HC 排放与里程的关系。

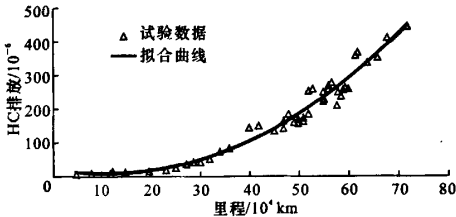


图 8 高怠速工况 HC 排放与里程的关系

回归方程

$$y_{HC} = 0.12x^2 - 2.7367x + 23.6416 \quad (9)$$
$$R^2_{HC} = 0.9609$$

图 9 是 ASM 5025 工况 HC 排放与里程的关系。

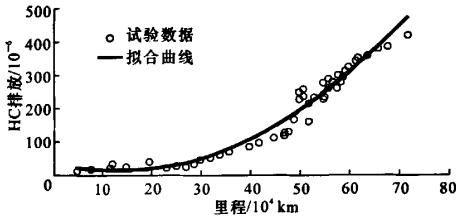


图 9 ASM 5025 工况 HC 排放与里程的关系

回归方程为

$$y_{HC} = 0.1362x^2 - 3.7752x + 38.8875 \quad (10)$$
$$R^2_{HC} = 0.9574$$

图 10 是 ASM 2540 工况 HC 排放与里程关系。

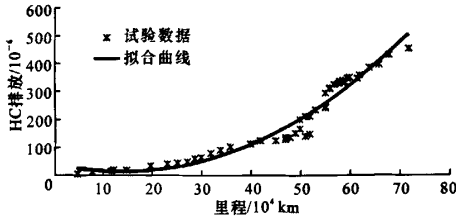


图 10 ASM 2540 工况 HC 排放与里程的关系

回归方程为

$$y_{\text{HC}} = 0.147x^2 - 4.2055x + 44.5528 \quad (11)$$
$$R^2_{\text{HC}} = 0.9492$$

图 11 是 IM 195 工况 HC 排放与里程的关系。

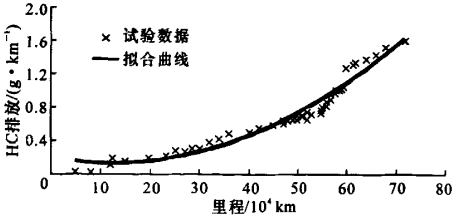


图 11 IM 195 工况 HC 排放与里程的关系

回归方程为

$$y_{\text{HC}} = 0.0004x^2 - 0.0102x + 0.1909 \quad (12)$$
$$R^2_{\text{HC}} = 0.9538$$

由图 7~图 11 可以看出,里程小于 $10 \times 10^4 \text{ km}$ 时,HC 排放很小,体积分数均在 50×10^{-6} 以下,质量排放放在 0.3 g/km 以下;里程超过 $30 \times 10^4 \text{ km}$ 时,HC 排放急剧增加,排放变化分析见表 5。

表 5 HC 排放随里程的变化

里程/ 10^4 km		10	20	30	40	50	60	70	72
试验工况	低怠速	1	1.86	5.01	10.44	18.15	28.16	40.44	43.17
	高怠速	1	2.04	5.99	12.83	22.58	35.23	50.78	54.23
	ASM 5025	1	1.21	3.27	7.17	12.92	20.51	29.95	32.06
	ASM 2540	1	1.12	2.95	6.49	11.73	18.69	27.36	29.29
	IM 195	1	1.14	1.90	3.28	5.28	7.90	11.15	11.87
	平均值	1	1.47	3.82	8.04	14.13	22.10	31.94	34.12

2.4.3 NO_x 排放与里程的关系

图 12 是低怠速工况 NO_x 排放与里程的关系。

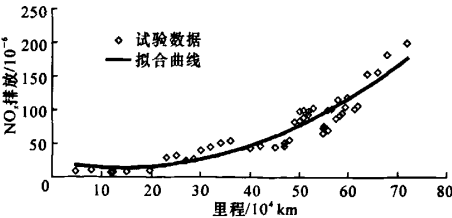


图 12 低怠速工况 NO_x 排放与里程的关系

回归方程为

$$y_{\text{NO}_x} = 0.0475x^2 - 1.2974x + 21.5553 \quad (13)$$
$$R^2_{\text{NO}_x} = 0.8866$$

图 13 是高怠速工况 NO_x 排放与里程的关系。

回归方程为

$$y_{\text{NO}_x} = 0.0522x^2 - 0.6059x + 11.1621 \quad (14)$$
$$R^2_{\text{NO}_x} = 0.9135$$

图 14 是 ASM 5025 工况 NO_x 排放与里程关系。

回归方程为

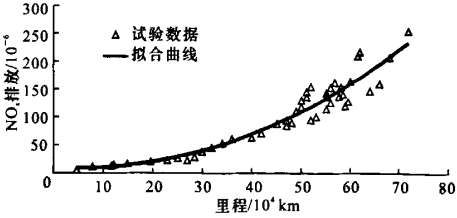


图 13 高怠速工况 NO_x 排放与里程的关系

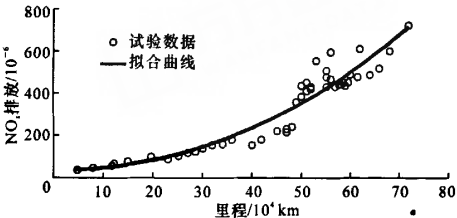


图 14 ASM 5025 工况 NO_x 排放与里程的关系

$$y_{\text{NO}_x} = 0.1386x^2 - 0.6046x + 36.651 \quad (15)$$
$$R^2_{\text{NO}_x} = 0.9014$$

图 15 是 ASM 2540 工况 NO_x 排放与里程关系。

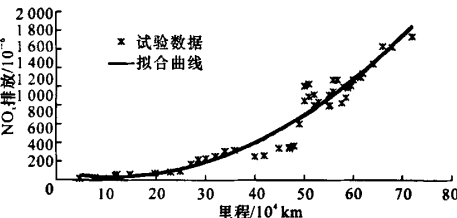


图 15 ASM 2540 工况 NO_x 排放与里程的关系

回归方程为

$$y_{\text{NO}_x} = 0.4789x^2 - 10.534x + 99.8482 \quad (16)$$
$$R^2_{\text{NO}_x} = 0.9224$$

图 16 是 IM 195 工况 NO_x 排放与里程的关系。

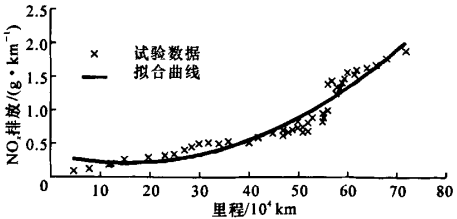


图 16 IM 195 工况 NO_x 排放与里程的关系

回归方程为

$$y_{\text{NO}_x} = 0.0006x^2 - 0.0175x + 0.3302 \quad (17)$$
$$R^2_{\text{NO}_x} = 0.9141$$

由图 12~图 16 可以看出,里程小于 $10 \times 10^4 \text{ km}$ 时, NO_x 排放很小,体积分数均在 30×10^{-6} 以下,质量排放放在 0.3 g/km 以下;里程超过 $30 \times 10^4 \text{ km}$ 时, NO_x 排放急剧增加,排放变化分析见表 6(见下页)。

表 6 NO_x 排放随里程的变化

里程/10 ⁴ km	10	20	30	40	50	60	70	72	
试验工况	低怠速	1	1.10	1.90	3.43	5.66	8.60	12.26	13.08
	高怠速	1	1.93	3.87	6.82	10.79	15.76	21.75	23.07
	ASM 5025	1	1.80	3.22	5.27	7.94	11.23	15.15	16.00
	ASM 2540	1	1.90	5.07	10.50	18.17	28.11	40.31	43.02
	IM 195	1	1.02	1.60	2.74	4.44	6.69	9.50	10.13
	平均值	1	1.55	3.13	5.75	9.40	14.08	19.79	21.06

以上结果表明,随着车辆行驶里程的增加,CO、HC、NO_x 的排放均呈上升趋势,这是由于发动机性能和催化器性能随行驶里程的增加而劣化造成的。由于营运出租车一般每年行驶里程在 10×10^4 km 以上,因此对于营运出租车应加强定期检测与维修保养,以恢复车辆技术状态,防止车辆排放状况随车辆行驶里程的增加而急剧恶化。

3 结 语

(1)由于限值和排放分析方法的不同,怠速、双怠速、ASM 和 IM 195 的排放合格率不同;以 IM 195 为基准,怠速、双怠速和 ASM 的有效识别率分别为 58.70%、67.39%和 84.78%,ASM 的有效识别率最高,双怠速次之,怠速最差;在 I/M 制度推行的初期,ASM 法是一种较好的在用车排放检测简易工况法。

(2)行驶里程对排放污染物的影响呈二次曲线关系。行驶里程超过 30×10^4 km 后,各种排放物均显著增加;相对于 10×10^4 km、 70×10^4 km 的 CO、HC、NO_x 排放的平均值分别增加了 23.13 倍、30.94倍和 18.79 倍。

(3)由于试验工况的不同,IM 195 工况排放增加倍数与其他测试工况差别较大。

参考文献:

References:

[1] 王建海,孙大兴,陆红雨,等. 中国在用轻型汽油车排放现状调查与分析[J]. 汽车工程,2006,28(7): 636-638.
WANG Jian-hai, SUN Da-xing, LU Hong-yu, et al. An investigation into the emission level of in-use light-duty gasoline-fuelled vehicles in China[J]. Automobile Engineering, 2006, 28(7): 636-638.

[2] GB 18285—2005, 点燃式发动机汽车排气污染物排放限值及测量方法(双怠速法和简易工况法)[S].

[3] 邱兆文,魏 朗,王生昌,等. 基于工况法的汽车排放特性试验[J]. 长安大学学报:自然科学版,2006,26

(5):79-82.

QIU Zhao-wen, WEI Lang, WANG Sheng-chang, et al. Experiment of automobile emission characteristics based on driving mode conditions[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26(5):79-82.

[4] 彭美春,张效刚,黄新平,等. 城市出租车排放特性的试验研究[J]. 车用发动机,2003,26(6):29-31.
PENG Mei-chun, ZHANG Xiao-gang, HUANG Xin-ping, et al. The experiment study of exhaust emission characteristics for city taxi[J]. Vehicle Engine, 2003, 26(6):29-31.

[5] 徐 安,刘圣田,梁恩忠. 轿车怠速排放规律及其建模[J]. 中国公路学报,1999,12(3):112-116.
XU An, LIU Sheng-tian, LIANG EN-zhong. Rules and modeling of car's idle emission[J]. China Journal of Highway and Transport, 1999, 12(3):112-116.

[6] Beydoun M, Guldman J M. Vehicle characteristics and emissions; logit and regression analyses of I/M data from Massachusetts, Maryland, and Illinois[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2006, 11(1):59-76.

[7] Cook R, Touma J S, Beidler A, et al. Preparing highway emissions inventories for urban scale modeling; a case study in Philadelphia[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2006, 11(6):396-407.

[8] Chiang H L, Tsai J H, Yao Y C, et al. Deterioration of gasoline vehicle emissions and effectiveness of tune-up for high-polluted vehicles[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2008, 13(1):47-53.

[9] 彭美春,赵铎泽,许志刚,等. 轻型汽车 ASM 排放特性[J]. 交通运输工程学报,2005,5(2):65-67.
PENG Mei-chun, ZHAO Xin-ze, XU Zhi-gang, et al. ASM exhaust emission characteristics of light vehicle[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005, 5(2):65-67.

[10] 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值的原则和方法[S].

[11] 潘 斌,张效刚. 不同测试工况下在用车排放特性对比研究[J]. 交通环保,2003,24(6):25-27.
PAN Bin, ZHANG Xiao-gang. Experiment study of exhaust emission characteristics under different test mode for vehicle in use[J]. Environmental Protection in Transportation, 2003, 24(6):25-27.

[12] 何灿芝,罗 汉. 应用统计学[M]. 长沙:湖南大学出版社,2004.