

文章编号:1674-599X(2010)03-0060-06

汽油车加油排放影响因素分析

何仁, 蔡锦榕, 梁琳林

(江苏大学汽车与交通工程学院, 江苏镇江 212013)

摘要: 通过对影响汽油车加油排放的外界环境(雷德蒸汽压)、裹入的空气速率和油箱的温度以及蒸发质量分数等主要因素进行分析,发现加油排放速率随空气的裹入速率和油箱的温度的变化呈线性关系;在给定的蒸发质量分数的条件下,汽油蒸汽压力的自然对数与温度的倒数呈线性关系;通过比较发现,车载汽油蒸汽回收装置的回收效率达93.9%以上. 研究表明,可以通过降低雷德蒸汽压、降低空气的裹入速率和油箱的温度等途径来实现减少加油过程的排放.

关键词: 加油排放; 油箱; 线性关系; 蒸发质量分数; ORVR

中图分类号:U464.136.5

文献标识码:A

Analysis of the factors impacting on refueling emissions of gasoline vehicle

HE Ren, CAI Jin-rong, LIANG Lin-lin

(School of Automobile and Traffic Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: Analysis of main factors impacting on refueling emissions was studied including outside environment (*RVP*), the air entering speed rate, tank temperature, and the evaporated mass fractions. It shows that the refueling emission represents linear relation with the change of the air entering speed rate and tank temperature and the vapor pressure of fuel and temperature relationship at the fixed evaporated mass fraction, this can be represented by straight lines between the vapor pressure of fuel and inverse temperature. And it also shows that the efficiency of onboard refueling vapor recovery system is more than 93.9%. The results indicate that in order to reduce refueling emissions, we can lower *RVP* and tank temperature and reduce the air entering speed rate.

Key words: refueling emissions; tank; linear relation; the evaporated mass fractions; ORVR

随着社会和经济的不断发展,汽车已经成为人类不可缺少的交通运输工具.随之而来的是汽车排放和燃油蒸发所带来的空气污染与能源的浪费.为此,人们想方设法通过设计各种装置来控制排放,减少排放对环境的污染.目前,人们都比较关注燃油的蒸发,研究表明^[1],燃油蒸发产生的HC约占汽油车排入大气的HC总量的20%左

右.在控制燃油蒸发过程中,人们忽视了汽油车加油过程中的加油排放.随着汽车保有量的增加,加油排放量越来越大,加油排放控制也慢慢得到重视.国外控制加油排放装置主要是指二级汽油回收系统.二级汽油回收系统(Stage II)^[2]主要是指汽车在加油时,利用加油枪上设计的特定装置,将由汽车油箱溢散到空气中的油气,经加油枪、油气

收稿日期:2010-06-31

基金项目:江苏省交通科学研究计划项目(09C01)

作者简介:何仁(1962-),江苏大学教授,博士生导师.

导管回收到油罐内;还有一种是车载汽油蒸汽回收装置(Onboard Refueling Vapor Recovery, 简称为 ORVR),它能够把加油过程中油箱里的蒸汽有效地排到活性炭罐里,然后再脱附到发动机里去燃烧掉,从而达到减少汽油蒸汽排放的目的.在中国的大、中型城市里,汽车加油排放已成为主要的大气污染源之一.为了减少汽车的加油排放,有必要对汽油车加油排放的影响因素进行研究.笔者拟对汽油车加油排放的影响因素进行系统的分析,以期有效地减少加油过程中的汽油排放提供一种分析方法和解决思路.

1 加油过程排放影响因素分析

运用树枝法得出汽油车加油过程中影响排放的因素树枝图(如图 1 所示).

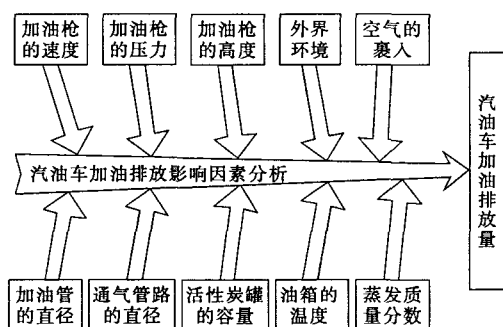


图 1 汽油车加油排放影响因素的树枝图

Fig. 1 The tree diagram of the factors impacting on refueling emissions of gasoline vehicle

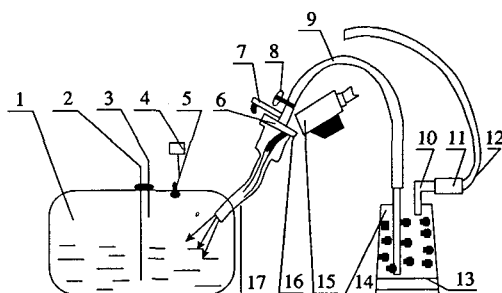
从图 1 可以看出,影响加油排放的因素有加油枪的速度、加油枪的压力、加油枪的高度、外界环境(压力和环境)、空气裹入速率、加油管的直径、活性炭罐的容量及进入油箱的热量等.在确定了影响加油排放的因素后,对每一种因素进行系统的分析,得出各种因素是如何影响加油过程的排放,通过改变这些因素来实现加油过程排放的减少,以达到节约能源和保护环境的目.不同的因素对加油排放具有不同的影响,笔者拟对外界环境(压力)、空气的裹入、油箱的温度和蒸发质量分数等 4 个方面因素进行分析.

1.1 外界环境压力

汽油是一种易挥发的液体,当它和空气接触

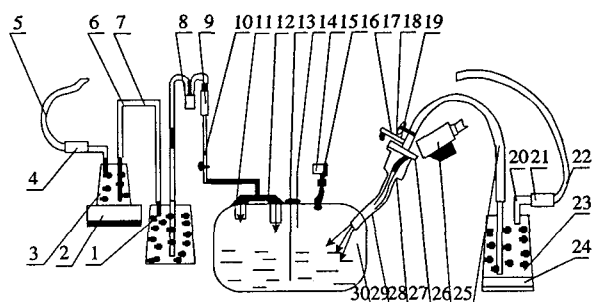
时很容易挥发.这种挥发会一直持续到汽油和空气的混合气体达到饱和为止.何时会达到饱和状态则取决于当时温度、汽油的自身组分和环境压力.

压力主要是指加入的汽油的蒸汽压,而蒸汽压是各种组分以及混合比率的综合结果.通常被称为雷德蒸汽压(简称 RVP),即一种液体 38 °C 时的蒸汽压.为了研究汽油的雷德蒸汽压对加油排放的影响和研究安装了 ORVR 加油排放回收控制系统的实际控制效果,在 62 kPa 的条件下进行加油排放的实验^[3-4].未安装 ORVR 和安装了 ORVR 的油箱加油排放回收控制系统实验装置分别如图 2,3 所示.



1.油箱;2.燃油温度;3.蒸汽温度计;4.信号处理器;5.压力传感器;6.加油枪定位座;7.油气开关;8.油气开关;9.胶管;10.接管;11.除湿管;12.均压管;13.收集器;14.电子天平;15.加油枪;16.加油枪密封套;17.加油管.

图 2 未安装 ORVR 的油箱加油排放物收集装置
Fig. 2 Refueling emissions' collection device of the fuel tank without installing ORVR



1.活性炭罐;2.电子天平;3.收集器;4.除湿管;5.均压管;6.通气管;7.油气开关;8.油气分离器;9.燃油控制阀;10.油气开关;11.坡度阀;12.控制阀;13.燃油温度计;14.蒸汽温度计;15.信号处理器;16.压力传感器;17.加油枪固定座;18.油气开关;19.油气开关;20.接管;21.除湿管;22.均压管;23.收集器;24.电子天平;25.胶管;26.加油枪;27.加油枪套;28.加油管;29.单向阀;30.油箱.

图 3 安装了 ORVR 的油箱加油排放物收集装置
Fig. 3 Refueling emissions' collection device of the fuel tank with installing ORVR

由于安装了 ORVR, 油箱内的汽油蒸汽不会从加油管中排出. 针对未安装 ORVR 和安装了 ORVR 加油排放回收控制系统的实验装置进行实验, 得到的数据见表 1.

表 1 平均加油排放实验数值

Table 1 Average value of the refueling emission rate g/L

实验次数	平均加油排放速率	
	未安装 ORVR	安装了 ORVR
第 1 次	1.186	0.070
第 2 次	1.285	0.088
第 3 次	1.206	0.068
平均值	1.226	0.075

从表 1 可以看出, 在相同的雷德蒸汽压下, 安装了 ORVR 加油排放回收控制系统的加油排放速率与未安装 ORVR 加油排放回收控制系统的排放速率相比较, 有显著的减小. 这主要是因为 ORVR 加油排放回收控制系统里面安装了两级控制阀和坡度阀, 并且在加油口处也设置了液封的密封装置, 阻止了加油过程中的蒸汽自动地从加油口挥发出去, 从而保证了加油过程产生的蒸汽尽量地通过两级控制阀和坡度阀到达与油箱相连接的活性碳罐, 最后再由发动机把储存在碳罐中的汽油蒸汽脱附到发动机中去燃烧. 从表 1 还可以看出, 随着汽油雷德蒸汽压的增加, 加油过程的排放量也相应的增加. 这主要是因为压力增加, 促使加油过程中汽油蒸汽的产生量增加, 也就意味着加油排放速率要增加.

1.2 空气的裹入

为研究加油过程中空气裹入速率对加油排放速率的影响^[5], 进行了实验, 其结果见表 2.

表 2 3 种不同的空气裹入速率对平均加油排放速率的影响

Table 2 Three kind of different air entrainment impacting on average value of the refueling emission rate g/L

空气裹入速率	平均加油排放速率	
	37 °C	44.5 °C
0.053	0.682	0.902
0.106	0.889	1.092
0.264	1.509	1.665

对表 2 中的数据应用 MATLAB 软件进行分析可知, 当在相同的温度下, 加油排放速率和空气裹入速率呈线性关系, 然后再应用 MATLAB 软件进行插值, 得出不同空气裹入速率下的加油排放率, 最后拟合得到不同温度下的空气裹入速率与加油排放速率的线性表达式如图 4 所示.

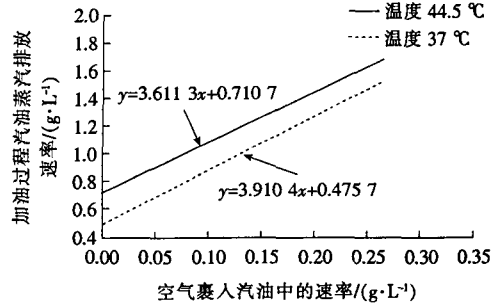


图 4 空气裹入速率对加油排放的影响

Fig. 4 The air entrainment impacting on refueling emissions

由拟合结果可知, 拟合的曲线和实验数据的误差为 0.006 0, 可以忽略不计. 也就是说, 空气裹入速率对加油排放速率的影响在一定范围内遵循线性变化规律.

1.3 油箱的温度

根据资料分析^[6-7], 可以得到一个排放的经验模型. 这个模型的假设^[8-9]是: ① 随机的抽取大量的现代汽车进行排放的实验, 从而得出合理的数据, 用于经验模型, 分析各种汽油车油箱排放速率; ② 在实验过程中, 各种实验参数得到合理的控制.

按经验公式^[8]计算油箱的排放速率:

$$m_v = \exp^{-1.279 8-0.004 9\Delta T+0.020 3T_D+0.131 5RVP} \quad (1)$$

式中: ΔT 为油箱和所加的汽油的温度差; T_D 为所加汽油的温度; RVP 为雷德蒸汽压 (Psi).

式(1)适应的各个参数条件分别为:

$$70 \text{ °F} \leq T_D \leq 88 \text{ °F};$$

$$-10 \text{ °F} \leq \Delta T \leq 10 \text{ °F};$$

$$8.8 \text{ Psi} \leq RVP \leq 12 \text{ Psi. (即: } 60.7 \text{ kPa} \leq RVP \leq 82.7 \text{ kPa).}$$

从式(1)可以看出, 油箱的排放速率和油箱的温度、所加汽油的雷德蒸汽压有着直接的关系. 用该模型对未安装 ORVR 和安装了 ORVR 的加油控制系统的排放速率分别进行计算, 然后对数据

进行整理,得出加油排放速率随油箱温度变化的曲线分别如图 5,6 所示。

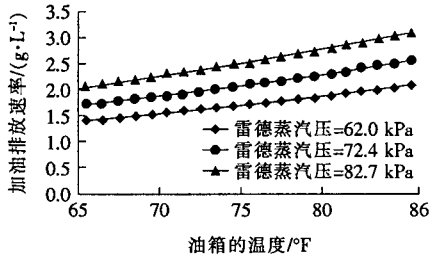


图 5 不同雷德蒸汽压下,未安装 ORVR 平均加油排放速率随油箱温度的变化

Fig. 5 Under different RVP average value of the refueling emissions rate without installing ORVR device changing with different temperatures

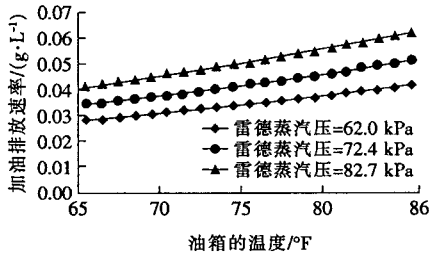


图 6 不同雷德蒸汽压下,安装了 ORVR 平均加油排放速率随油箱温度的变化

Fig. 6 Under different RVP average value of the refueling emissions rate with installing ORVR changing with different temperatures

从图 5,6 中可以看出,在相同雷德蒸汽压下,未安装 ORVR 与安装了 ORVR 加油回收控制系统的油箱的加油排放速率,随油箱温度的增加呈线性的关系变化;随着雷德蒸汽压的提高,油箱的排放速率也进一步增加。

应用 MATLAB 软件来拟合图 7,8 在各种雷德蒸汽压下实验的线性方程表达式,并且用图形来表达出它们的残差大小。

① 对安装了 ORVR 加油回收控制系统进行拟合,并且得出各自的残差分析图。

雷德蒸汽压为 62.0,72.4 和 82.7 kPa 时,其线性拟合方程分别为:

$$\begin{aligned}
 m_{v1} &= 0.000\ 3T_{\text{tank}} + 0.007\ 3; \\
 m_{v2} &= 0.000\ 4T_{\text{tank}} + 0.008\ 9; \\
 m_{v3} &= 0.000\ 5T_{\text{tank}} + 0.010\ 8. \quad (2)
 \end{aligned}$$

式中: T_{tank} 为油箱的温度(°F,其中 $1\text{ }^\circ\text{F} = 5/9\text{ }^\circ\text{C}$);

m_{v1} 为 62 kPa 下随温度变化的排放速率; m_{v2} 为 72.4 kPa 下随温度变化的排放速率; m_{v3} 为 82.7 kPa 下随温度变化的排放速率。

与经验公式相比的残差图形分析如图 7 所示。

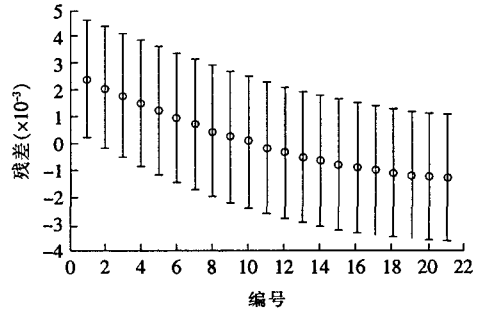


图 7 安装了 ORVR 的加油排放速率的一次拟合的残差分析

Fig. 7 Residual analysis of the linear fitting of refueling emissions rate with installing ORVR

② 对未安装 ORVR 加油回收控制系统进行拟合,并且得出各自的残差分析图。

雷德蒸汽压为 62.0,72.4 和 82.7 kPa 时,其线性拟合方程分别为:

$$\begin{aligned}
 M_{v1} &= 0.017\ 5T_{\text{tank}} + 0.363\ 6; \\
 M_{v2} &= 0.021\ 3T_{\text{tank}} + 0.442\ 9; \\
 M_{v3} &= 0.025\ 9T_{\text{tank}} + 0.539\ 5. \quad (3)
 \end{aligned}$$

式中: T_{tank} 为油箱的温度,°F; M_{v1} 为 62 kPa 下随温度变化的排放速率; M_{v2} 为 72.4 kPa 下随温度变化的排放速率; M_{v3} 为 82.7 kPa 下随温度变化的排放速率。

其与经验公式相比的残差图形分析如图 8 所示。

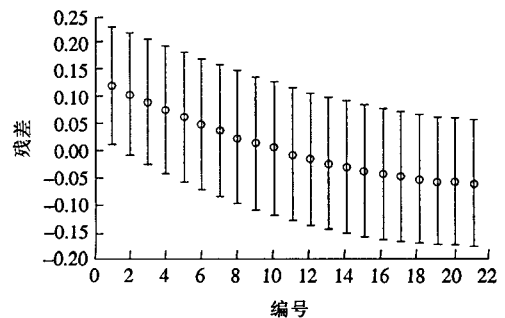


图 8 未安装 ORVR 的加油排放速率的一次拟合的残差分析

Fig. 8 Residual analysis of the linear fitting of refueling emissions rate without installing ORVR

从图7,8可以看出,线性方程与经验公式相比,只有第一个点不符合要求,可以把该点看成是奇点.去掉该点后,在极小的误差范围内该线性方程与经验公式吻合.

通过对油箱温度的分析,也可以清楚地了解到加油过程的排放与油箱的温度、所加汽油的雷德蒸汽压有着直接的关系.从图7,8中还可以看出,安装了ORVR加油回收控制系统后,加油排放速率减少了93.9%左右,其效果相当明显.在对经验公式分析中,发现排放的污染物量与油箱温度呈线性关系.因此,将各种雷德蒸汽压下的实验数据进行线性拟合,用该线性方程来代替经验公式,可使计算公式简化.

1.4 蒸发质量分数

蒸发质量分数^[10]是指蒸发的汽油质量与加油前汽油质量的百分比.已知蒸汽压力 P_{loc} 、油箱温度 T 和蒸发质量分数 Z_{vap} 之间是相互联系的,这说明蒸发质量分数 Z_{vap} 是决定汽油成分的重要变量.而汽油蒸汽压力 P_{loc} 是关于雷德蒸汽压 RVP (就是汽油蒸汽在温度为38℃下的压力)、油箱温度 T 和蒸发质量分数 Z_{vap} 的函数,按公式^[11]进行计算:

$$P_{vap} = P_{vap}(RVP, T, Z_{vap}). \quad (4)$$

再通过推导可得出:

$$P_{vap} = P_{loc} \times \exp \left\{ \frac{\ln \left(\frac{RVP}{P_{loc}} \right) \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{loc}} \right]}{\left[\frac{1}{T_{RVP} + A(Z_{vap} - Z_{RVP})} - \frac{1}{T_{loc}} \right]} \right\}. \quad (5)$$

式中: P_{loc} , T_{loc} 和 A 均为由汽油型号决定的经验参数; Z_{vap} 为在雷德蒸汽压的条件下的蒸发质量分数,即在38℃的条件下,蒸发罐中蒸汽空间为汽油液体空间的4倍下的蒸发质量分数.

图9为标准雷德蒸汽压下测量蒸发质量分数的示意图,图9中表示的是在 $V/L=4$ 和温度在38℃下决定的雷德蒸汽压(其中: V 为蒸汽空间体积; L 为汽油液体的体积).

一般在任意的 V/L 和任意温度下,蒸汽空间包含的蒸发质量分数 Z_{vap} 可以表示为:

$$Z_{vap} = \frac{1}{1 + \frac{\rho_L R_{gas} T}{(V/L) P_{vap} MW_{vap}}}. \quad (6)$$

式中: ρ_L 为汽油的密度; R_{gas} 为气体常数; MW_{vap} 为蒸汽的分子量.

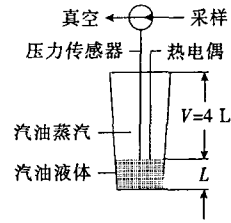


图9 标准雷德蒸汽压测量蒸发质量分数的示意

Fig. 9 Schematic diagram of the standard Reid vapor pressure measurement

在特殊的情况下,即 $P_{vap} = RVP$, $V/L = 4$ 和温度 $T = T_{RVP} = 311 \text{ K}$ (38℃)时,蒸发质量分数 Z_{vap} 就可以表示为:

$$Z_{RVP} = \frac{1}{1 + \frac{\rho_L R_{gas} T_{RVP}}{4RVP MW_{vap}}}. \quad (7)$$

中国汽油的经验参数^[12]见表3.

表3 中国汽油的经验参数

Table 3 Empirical parameters of Chinese gasoline

$RVP_{TEST}/A/(^\circ\text{C} \cdot \text{m}^{-1})$	$P_{loc}/T_{loc}/\rho_L/(\text{kg} \cdot \text{H}_{vap}/(\text{kJ} \cdot \text{kPa} \cdot \text{f} \cdot \text{evap})$	MPa	K	m^{-3}	kg^{-1}	MW_{vap}
48~110	150	3.47	489	759	290~315	65

根据式(6),(7),利用MATLAB软件来模拟出蒸汽压力 P_{vap} 、蒸发质量分数 Z_{vap} 和温度 T 的关系.为了直观起见,在给定的蒸发质量分数 Z_{vap} 的条件下,绘出 $\ln P_{vap}$ 和 $1/T$ 的拟合曲线,其结果如图10所示.

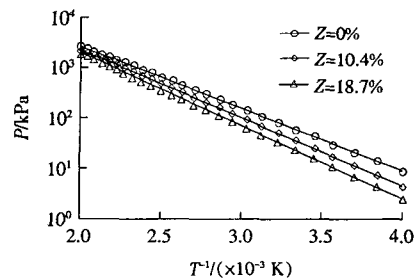


图10 在 $RVP = 82.7 \text{ kPa}$ 下,汽油中蒸汽压力与温度的倒数在不同的蒸发质量分数下的拟合曲线

Fig. 10 Vapor pressure and inverse temperature for various evaporated fractions of Gasoline with 82.7 kPa of RVP

由图10可以看出,汽油中蒸汽压力的自然对数与温度的倒数呈线性关系,而且这与试验数据

相当吻合,可以使用式(5)来描述蒸汽压力、温度和蒸发质量分数的关系。

2 结论

1) 对所加汽油的雷德蒸汽压进行研究和分析,通过对实验得到数据进行处理,然后把安装了ORVR与未安装ORVR加油回收控制系统的排放速率进行比较,得出ORVR加油回收控制系统对回收加油过程的排放效率达到93.9%。实验结果表明,可以通过减少雷德蒸汽压来减少加油排放。

2) 通过对空气裹入速率的分析得知,在一定范围内的相同温度环境下,加油过程中的加油排放速率随空气的裹入速率呈线性关系。要减少加油过程中加油排放,可以降低温度和减小空气的裹入速率,从而达到节约能源和环保的目的。

3) 由应用经验公式研究和分析油箱的温度对加油排放的影响得知,在相同的压力下,加油排放速率随油箱的温度在一定范围内呈线性关系。

4) 分别对未安装ORVR和安装了ORVR加油回收控制的数据进行线性拟合且进行残差分析得知,可以用拟合的线性表达式来替代原始的经验公式,从而使得计算公式简化。

5) 对汽油蒸汽压力、温度和蒸发质量分数的关系式分析可知,试验数据与理论模型相吻合,而且在给定蒸发质量分数的条件下,汽油蒸汽压力的自然对数与温度的倒数呈线性关系。

参考文献(References):

[1] 沈文嘉,郝吉明,王丽涛. 中国加油站VOC排放污染现状及控制[J]. 环境科学,2006,27(8):1473-1478. (SHEN Wen-jia, HAO Ji-ming, WANG Li-tao. VOC emission situation and control measures of gas station in China[J]. Environmental Science, 2006, 27(8):1473-1478. (in Chinese))

[2] 美国华. 控制车辆油气排放的ORVR技术[J]. 轻型汽车技术,2006(11):29-31. (JIANG Guo-hua. ORVR technology of controlling fuel vapor emission of the vehicle [J]. Light Vehicle Technology, 2006(11):29-31. (in Chinese))

[3] 黄维秋,钟秦. 非稳态油品蒸发的数值分析I数学模型的建立[J]. 石油学报(石油加工),2003,19(6):

58-63. (HUANG Wei-qiu, ZHONG Qin. Numerical analysis of petroleum products' evaporation under unsteady conditions I. Establishment of mathematical model[J]. Acta Petrolei Sinica (Petroleum Processing Section), 2003, 19(6):58-63. (in Chinese))

- [4] 黄维秋,高锡祺,卢显文,等. 小型锥顶汽油罐蒸发损耗的实验测定[J]. 江苏石油化工学院学报,1997,9(3):1-6. (HUANG Wei-qiu, GAO Xi-qi, LU Xian-wen, et al. Experimental determination on gasoline evaporation loss from a laboratory-sized cone-roof metal tank[J]. Journal of Jiangsu Institute of Petrochemical Technology, 1997, 9(3):1-6. (in Chinese))
- [5] Banerjee R, Isaac K M, Oliver L, et al. A numerical study of automotive gas tank filler pipe two phase flow[J]. SAE Technical Paper, 2001-01-0732.
- [6] 高继东,高俊华,崔正来. 利用温度因素降低整车蒸发排放的研究[J]. 汽车工程,2006,28(6):259-261. (GAO Ji-dong, GAO Jun-hua, CUI Zheng-lai. A study on reducing evaporative emission of vehicle by thermal means[J]. Automotive Engineering, 2006, 28(6):259-261. (in Chinese))
- [7] 袁银男,夏云铎,钱裕尧. 燃油蒸发污染物的控制系统研究[J]. 汽车工程,2000,13(1):104-108. (YUAN Yin-nan, XIA Yun-hua, QIAN Yu-rao. Control system for pollutant of evaporated gasoline vehicle[J]. Automotive Engineering, 2000, 13(1):104-108. (in Chinese))
- [8] Kunimitsu M, Mori K, Muragushi T. Prediction of gasoline vapor generation from a vehicle fuel tank at high temperature[J]. JSAE Review, 1993, 14(4):6548.
- [9] Whalley P B. Two-phase flow during filling and emptying of bottles[J]. International Journal of Multi-Phase Flow, 1991, 17(1):145-152.
- [10] Lavoie G A, Smith C S. Vapor pressure equations for characterizing automotive fuel behavior under fuel handling conditions[J]. Society of Automotive Engineers, 1997, 1275:157-166.
- [11] Bird R B, Lightfoot E N, Stewart W E. Transport phenomena[M]. New York: John Wiley & Sons, 2004.
- [12] 程丽华,梁朝林. 石油炼制工艺学[M]. 北京:中国石化出版社,2005. (CHENG Li-hua, LIANG Chao-lin. Petrol refining processing technology[M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2005. (in Chinese))