

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2016.06.023

# 汽车排气中水蒸气对碳平衡法油耗检测结果的影响

陶健, 庞夺峰, 王文君, 姜鑫  
(山西省交通科学研究院, 山西 太原 030000)

**摘要:**为消除排气中水蒸气对碳平衡法油耗检测结果的影响,提高碳平衡油耗仪在不同检测条件下的检测精度,研究了碳平衡法检测原理,分析了水蒸气对检测过程的影响机理,进行了干湿气体体积换算的相关研究,建立了基于稀释气体温度、压强和相对湿度的湿度修正模型。针对不同的环境温度和燃料类型,试验了修正前后碳平衡法对油耗的检测结果,并分别与质量式油耗检测结果进行了对比。结果表明:该修正模型对油耗检测精度影响较为显著,修正后与质量式油耗检测结果更为接近。

**关键词:**汽车工程;油耗检测;碳平衡法;湿度修正;水蒸气

中图分类号:U461.8

文献标识码:A

文章编号:1002-0268(2016)06-0140-06

## Influence of Water Vapor in Vehicle Exhaust on Fuel Consumption with Carbon Balance Method

TAO Jian, PANG Duo-feng, WANG Wen-jun, JIANG Xin  
(Shanxi Transportation Research Institute, Taiyuan Shanxi 030000, China)

**Abstract:** In order to eliminate the influences of water vapor in vehicle exhaust on fuel consumption detection with carbon balance method, and to improve the detection accuracy of fuel consumption meter based on carbon balance method under different test conditions, the detection principle of carbon balance method is studied, the influence mechanism of water vapor on the detection process is analyzed, and the related research on dry/wet gas volume conversion is conducted. A humidity correction model based on temperature, pressure and relative humidity of diluent gas is built. Under the conditions of different environment temperatures and vehicle fuel types, the results of fuel consumption before and after the correction of carbon balance test method are tested, and then compared with the results of quality fuel consumption test respectively. It shows that detection accuracy of fuel consumption is significantly influenced by the humidity correction model, and the result from the correction model is more consistent with that from quality fuel consumption test.

**Key words:** automotive engineering; fuel consumption test; carbon balance method; humidity correction model; vapor

## 0 引言

随着我国汽车保有量的逐年增加,燃料短缺问

题日益突出,交通行业节能减排事业受到社会各界关注。为了加快运输节能工作的进程,推动高油耗在用车辆淘汰工作的落实,亟需开发适用于汽车综

收稿日期:2015-02-05

基金项目:山西省交通厅科技项目(2012-1-11)

作者简介:陶健(1984-)男,山西朔州人,硕士。(taojian0606@163.com)

合性能检测站的油耗检测设备,需要其具备检测时间短、操作简便、价格便宜的特点。碳平衡法油耗检测技术因满足不解体快速检测油耗的要求而备受行业学者的重视。随着含碳气体浓度测量精度和气体流量测量精度的不断提高以及采样方式的优化,碳平衡法油耗检测的稳定性和检测精度不断提高,碳平衡油耗仪与质量式油耗仪的检测结果对比偏差在4%以内<sup>[1-2]</sup>。通过对油耗仪测量过程中汽车稀释气体相对湿度的研究发现,因排气的相对湿度值较大,加之不同油品、工况及试验环境都会影响排气中水蒸气的含量,因此定量研究稀释气体中水蒸气对碳平衡法油耗检测结果的影响,对进一步提高油耗检测精度有重要的现实意义。我国在汽车污染物排放检测过程中也充分考虑了水蒸气对检测结果的影响<sup>[3-4]</sup>。本文通过分析水蒸气导致油耗检测结果误差的原因,研究消除该影响的机理,通过直接测取排气中的水蒸气相关参数,建立稀释排气湿度修正模型,并对加装排气相对湿度传感器的碳平衡油耗仪进行试验,分别对比其修正前后与质量式油耗仪检测结果的偏差,验证湿度修正对提高检测精度的效果。

## 1 碳平衡法油耗检测原理

碳质量平衡法是根据燃油在发动机中燃烧后排气中碳质量总和与燃油燃烧前的碳质量总和相等的质量守恒定律测算汽车燃料消耗量的方法<sup>[5]</sup>。因此只要测出在油耗测量过程中受检车辆排气中含碳气体 CO、CO<sub>2</sub>、HC 中的碳质量,再与单位体积燃料的含碳量相比,即可测得燃料的消耗量。测量排气中3种含碳气体的质量,需要进一步测量各气体占受检气体的浓度和受检气体的体积。

美国、欧盟、日本等国都制定了碳平衡法计算燃油消耗量的标准,由于各国燃油密度、碳氢比不同,以及计量单位不同,计算公式的形式也略有不同。另外,美国1998年修订的油耗法规对于汽油车,将排放中 HC 的含碳质量和燃油净热值引入计算公式中。

碳平衡法油耗基本算式如下:

$$FC = \frac{m_{FC}}{d_{FC}} (0.429M_{CO} + 0.273M_{CO_2} + m_{HC}M_{HC}), \quad (1)$$

$$M_{CO_2} = Q_n d_{CO_2} C_{CO_2} \times 10^{-2}, \quad (2)$$

$$M_{CO} = Q_n d_{CO} C_{CO} \times 10^{-2}, \quad (3)$$

$$M_{CO_2} = Q_n d_{HC} C_{HC} \times 10^{-6}, \quad (4)$$

式中,  $FC$  为汽车每秒燃料消耗量;  $m_{FC}$  为燃料的含碳量;  $d_{FC}$  为燃料在 20℃ 时的密度;  $m_{HC}$  为尾气中 HC 的含碳量;  $Q_n$  为标准状态下的稀释排气流量;  $C_{CO_2}$  为对环境空气中 CO<sub>2</sub> 校正后每秒稀释排气中的 CO<sub>2</sub> 浓度;  $M_{CO_2}$ ,  $M_{CO}$ ,  $M_{HC}$  分别为尾气中每秒 CO<sub>2</sub>, CO, HC 的质量;  $C_{CO}$ ,  $C_{HC}$  分别为每秒稀释排气中 CO, HC 的浓度;  $d_{CO_2}$ ,  $d_{CO}$ ,  $d_{HC}$  为分别标准状况下 CO<sub>2</sub>, CO, HC 的气体密度。

将式(2)~(4)代入式(1),得:

$$FC = Q_n \frac{m_{FC}}{d_{FC}} (0.00429d_{CO}C_{CO} + 0.00273 \times d_{CO_2}C_{CO_2} + m_{HC}d_{HC}C_{HC} \times 10^{-6}). \quad (5)$$

由式(5)可见,用碳平衡法得到的油耗结果与排气流量、燃料密度、燃料含碳量及各含碳气体的浓度有关<sup>[6-8]</sup>。计算各含碳气体质量时,需将气体流量转换为标准状况下的流量。在与油耗仪对比试验中,碳平衡计算选用的密度和含碳量尽量要与实际保持一致,这样可以有效降低误差,有利于修正模型的建立。

## 2 水蒸气对油耗检测的影响和修正

### 2.1 排气中水蒸气的来源

通过前期在不同季节对不同车型排气中的水蒸气进行试验研究,结果表明,汽车排气的相对湿度都较大,同时还受排气温度和天气条件的影响。对于碳平衡法油耗仪,排气中水蒸气量还受排气取样采集方式的影响。

目前国内碳平衡油耗检测装置的排气取样采集方式有开式和闭式两种<sup>[9]</sup>。闭式采样方式是将排气流量取样管与汽车排气管密闭连接,在封闭状态下,不经空气稀释,流量计测量排气管的排气流量。为了防止排气流的脉动和水蒸气冷凝,设置了稳压箱装置<sup>[10]</sup>。闭式采样过程中,水蒸气主要来源于进气空气中的水蒸气和燃料中氢元素燃烧生成的水蒸气。开式采集方式是将汽车排气管排气与环境空气一同收进集气管,用环境空气将排气稀释后,再用流量计测取稀释排气流的容积<sup>[8]</sup>。开式采样过程中,水蒸气主要来源于空气中的水蒸气和燃料中氢元素燃烧生成的水蒸气以及稀释气中的水蒸气。

### 2.2 排气中水蒸气对检测的影响

碳平衡油耗仪在测量排气中主要含碳气体 CO<sub>2</sub> 和 CO 浓度时,采用检测精度较高的非分光红外线法

(NDIR)。该方法的工作原理是基于待测气体对特定波长的红外线辐射能的吸收程度与其浓度成比例关系<sup>[11]</sup>。由于水蒸气对红外线的吸收波长范围与CO和CO<sub>2</sub>波长范围有重叠,因此如果混合气体中存在水蒸气时,会干扰含碳气体浓度的测量结果。

基于以上原因,分析仪在测量含碳气体浓度时需要将稀释排气中的水蒸气提前滤除,因此测量的含碳气体浓度为干基气体的浓度。而油耗仪的流量计测量的排气气体体积则为含有水蒸气的混合气体体积,即湿基气体体积,所以导致含碳气体的质量计算结果有误。根据误差产生的机理,可以通过稀释排气体积换算为干稀释排气体积来消除误差。

### 2.3 排气中水蒸气的修正研究

早在《柴油机排放试验方法》(GB6456—86,已废止)中就考虑了水蒸气对含碳气体质量计算的影响,给出了干/湿基转换系数公式。该公式以理论燃烧方程为基础,计算燃料中氢元素燃烧生成的水量,并通过参与燃烧的氧气计算空气进气量和空气中的水量,最后计算水蒸气占排气的体积比,该方法计算的水量与排气中实际水蒸气量差别较大。

在现行的《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物排放限值及测量方法》(GB17691—2005)中,对直接采样和稀释采样的转化系数分别进行了研究。其中在稀释采样的转化式中,主要依据实际燃烧过程生成的含碳物质质量和燃料的氢碳原子比来计算燃烧生成的水,并利用分压定理计算进气空气中水蒸气占总气体的体积比。该标准中的方法一方面忽略了燃烧生成的HC成分,另一方面忽略了稀释空气和进气中含碳气体对计算结果的影响。同时,稀释采样的修正方法说明分压定理适用于稀释后的汽车排气,即可认为汽车稀释排气为理想气体。

《三轮汽车和低速货车用柴油机排气污染物排放限值及测量方法》(GB19756—2005)中给出的干、湿基转换系数公式,将燃烧生成的水和进气空气中的水进行统一计算。式中只引入空燃比变量,其他参数取定值,简化计算公式,同时降低了精度。

由于发动机进气混合气中的水蒸气部分会被空气滤清器过滤,因此通过空气湿度计算进气的这部分水蒸气存在误差。另外,通过燃料碳元素与氢元素个数比和测量排气中含碳气体浓度来计算燃烧生成的水量,一方面由于忽略HC气体对计算结果的影响,另一方面含碳气体中还有稀释气体中的含碳气体,导致计算的燃烧生成水量有误,加之生成的水

会形成冷凝水从排气管流出,不会全部以水蒸气排出,所以,通过水蒸气来源计算水蒸气量容易导致排气水蒸气含量有误。

引起油耗计算误差的原因是稀释气体的含碳气体浓度和体积分别是由干基与湿基状态测得,需要将稀释排气的体积转化为干气体体积,消除稀释排气中实际水蒸气对油耗计算的影响。因稀释气体可近似为理想气体,满足分压定理,故在此提出,根据分压定理和分体积定理,测得稀释气体的压强、温度和湿度,即可计算水蒸气占稀释气体的分压,进而计算干气体与湿气体的体积比,获得稀释混合气体与干气体体积的换算关系。

## 3 修正模型的建立及试验验证

### 3.1 修正模型的建立

由分压定理和分体积定理联立方程可知:

$$\frac{P_B}{P} = \frac{V_B}{V}, \quad (6)$$

式中, $P_B$ 为气体B产生的分压强; $P$ 为气体总压强; $V_B$ 为气体B占的体积; $V$ 为气体总体积。

由式(6)可知,每种气体占总气体的压强占比与其体积占比相等。因此可通过计算稀释排气中水蒸气的分压即可计算干气体的体积占比,进而求得实时的干气体体积。

气体相对湿度的公式如下:

$$RH = \frac{e}{E} \times 100\%, \quad (7)$$

式中, $RH$ 为相对湿度; $e$ 为水蒸气气压; $E$ 为该温度下饱和水蒸气的气压。

由式(7)可知,水蒸气分压与气体的相对湿度和气体温度下饱和水蒸气气压相关,即水蒸气分压与气体的相对湿度和温度相关。

由式(6)和式(7)可知干稀释排气体积与湿排气体存在以下关系:

$$V_D = \frac{P_D}{P} V_W = \frac{P - E_i \cdot RH}{P} V_W, \quad (8)$$

式中, $V_D$ 为稀释排气中的干气体体积; $V_W$ 为稀释排气的体积; $P$ 为稀释排气的压力; $P_D$ 为干稀释排气的压力; $RH$ 为稀释排气的相对湿度; $E_i$ 为稀释排气在测量温度 $T$ 条件下的饱和蒸气压。

由于碳平衡油耗检测中使用的气体流量为标况条件,故将尾气中干气体体积转换为标准状况下的体积:

$$V_{TD} = V_D \cdot \frac{P}{T} \cdot \frac{T_n}{P_n}, \quad (9)$$

式中,  $V_{TD}$  为标准状态下干稀释排气的体积;  $T$  为稀释排气温度;  $T_n$  为标准状态下的温度, 其值取 273 K;  $P_n$  为标准状态下的气压, 其值取 101.33 kPa。

由式 (8) 和式 (9) 可得:

$$V_{TD} = V_w \frac{P - E_i \cdot RH}{P_n} \cdot \frac{T_n}{P_n} \quad (10)$$

在油耗计算公式 (5) 中,  $Q_n$  为标准状态下的气体流量, 即为每秒的排气体积, 为了消除气体浓度和流量分别在干基条件和湿基条件下测量导致的计算误差, 将标准状态下的气体流量转化为标准状态下的干气体流量, 修正后每秒的油耗计算公式如下:

$$FC = Q \frac{(P - E_i \cdot RH) T_n}{d_{FC}} \cdot \frac{m_{FC}}{d_{FC}} (0.00429d_{CO} \cdot C_{CO} + 0.00273d_{CO_2} C_{CO_2} + m_{HC} d_{HC} C_{HC} \times 10^{-6}), \quad (11)$$

式中  $Q$  为稀释排气实际流量。

### 3.2 试验结果分析

为了验证修正模型对测量精度的提高效果, 搭建了开式采样方式的碳平衡法油耗测量平台<sup>[12-15]</sup>。用于对比的质量式油耗仪选用 ET2500 型, 底盘测功机及控制系统选用 HYCG-030 型, 并在排气取样处加装湿度检测装置。湿度检测装置工作原理如图 1 所示。

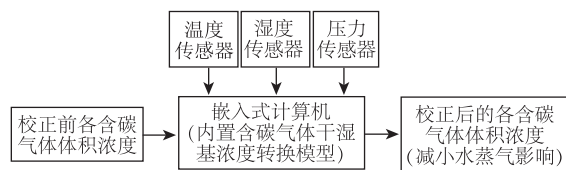


图1 湿度测量装置工作原理框图

Fig. 1 Block diagram of working principle of humidity measurement device

首先选用帕萨特车型进行油耗对比试验。考虑气温对湿度的影响, 分别在 2014 年 2 月和 6 月各进行了 3 组试验, 测取湿度修正前后油耗检测结果, 并分别将修正前后碳平衡法检测结果与质量式油耗仪检测结果进行对比, 试验结果及对比偏差如表 1 所示。其次选择长安之星和三菱菱绅车型进行试验。由于不同燃料燃烧生成水量不同, 因此对 93 号汽油、甲醇汽油 M15 和 M85 分别进行油耗试验, 研究了该修正模型对不同燃料的适用性, 试验车速度均为 60 km/h, 试验现场如图 2 所示, 试验结果如表 2 所示。

由表 1 的试验结果可知, 因受气温影响, 2 月份试验的稀释排气平均温度和相对湿度分别为 17.3 °C 和 70.7%。6 月份的稀释排气平均温度和相对湿度分别为 42.3 °C 和 59.7%。2 月份比 6 月份的稀释排

表1 修正前后油耗对比结果 [单位: L · (100 km)<sup>-1</sup>]

Tab. 1 Comparison of results of fuel consumption before and after correction [unit: L · (100 km)<sup>-1</sup>]

| 排气相<br>对湿度/<br>% | 排气<br>温度/<br>°C | 月份  | 车速/<br>(km ·<br>h <sup>-1</sup> ) | 修正前  | 修正后  | 对比值  | 修正前<br>偏差/<br>% | 修正后<br>偏差/<br>% |
|------------------|-----------------|-----|-----------------------------------|------|------|------|-----------------|-----------------|
| 64               | 16              | 2 月 | 60                                | 6.71 | 6.64 | 6.51 | 3.07            | 1.99            |
| 76               | 18              |     |                                   | 6.78 | 6.68 | 6.53 | 3.82            | 2.29            |
| 72               | 18              |     |                                   | 6.75 | 6.65 | 6.51 | 3.68            | 2.15            |
| 64               | 40              | 6 月 | 60                                | 6.75 | 6.41 | 6.52 | 3.53            | 1.68            |
| 60               | 42              |     |                                   | 6.74 | 6.48 | 6.55 | 2.90            | 1.06            |
| 55               | 45              |     |                                   | 6.76 | 6.48 | 6.57 | 2.89            | 1.37            |

注: 对比值为质量式油耗仪检测结果, 下同。

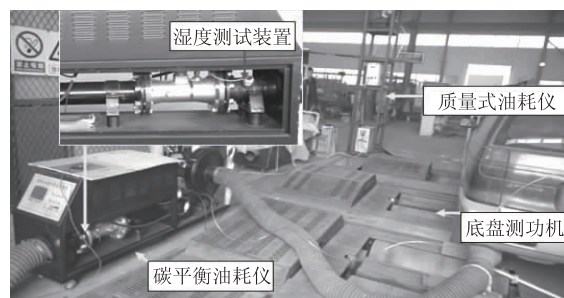


图2 试验现场

Fig. 2 Testing site

表2 不同车型及燃料油耗试验结果 [单位: L · (100 km)<sup>-1</sup>]

Tab. 2 Experiment results of fuel consumption of different types of vehicle and fuel [unit: L · (100 km)<sup>-1</sup>]

| 燃料  | 车型   | 修正前  | 修正后  | 对比值  | 修正前<br>偏差/% | 修正后<br>偏差/% |
|-----|------|------|------|------|-------------|-------------|
| 93# | 长安之星 | 5.81 | 5.72 | 5.63 | 3.20        | 1.60        |
| M15 |      | 6.10 | 5.99 | 5.91 | 3.22        | 1.35        |
| M85 |      | 7.15 | 7.01 | 6.88 | 3.92        | 1.89        |
| 93# | 三菱菱绅 | 7.25 | 7.16 | 7.03 | 3.13        | 1.85        |
| M15 |      | 7.74 | 7.64 | 7.49 | 3.34        | 2.00        |
| M85 |      | 9.56 | 9.42 | 9.32 | 2.58        | 1.07        |

气温度明显较低, 而相对湿度较高。可见环境温度对稀释排气的温度和相对湿度有一定影响。

2 月份修正前, 3 组油耗试验结果平均偏差为 3.52%, 而经修正后, 平均偏差为 2.14%, 修正后偏差比修正前偏差低 1.38%。6 月份修正前, 3 组油耗试验结果平均偏差为 3.11%, 而经修正后, 平均偏差为 1.37%, 修正后偏差比修正前偏差低 1.74%。可见, 不同的环境温度对油耗检测结果的影响程度不同, 对于不同的环境温度影响, 修正模型能显著提高碳平衡法油耗检测仪的检测精度。

进一步, 选取 2 月份和 6 月份排气相对湿度均为 64%, 排气温度分别为 16 °C 和 40 °C 的 1 组试验结果进行比较, 修正前的偏差分别为 3.07% 和

3.53%，经修正后偏差分别为1.99%和1.68%，修正量分别为1.08%和1.84%。可见湿度相同条件下，环境温度越高导致排气温度也越高，对检测结果的影响越大，修正模型对修正前偏差较大的结果修正量也大。

分析以上试验结果可知，该修正模型对于不同环境温度下产生的各种排气温度和相对湿度条件，都能显著提高碳平衡法油耗检测仪的检测精度。

由表2的试验结果可知，两辆试验车分别使用93#汽油、甲醇汽油M15和M85后，碳平衡油耗仪修正前后的油耗与质量式油耗仪油耗对比，其检测结果不同，其中93#油耗最低，M85油耗最高，这是因为甲醇含量越高，燃料含氧量越大，热值越低。

长安之星车型使用93#汽油、甲醇汽油M15和M85修正前的偏差分别为3.20%，3.22%，3.92%，修正后偏差分别为1.60%，1.35%，1.89%，修正后比修正前偏差分别降低了1.60%，1.87%，2.03%。三菱菱绅车型对于93#汽油、甲醇汽油M15和M85修正前偏差分别为3.13%，3.34%，2.58%，修正后偏差分别为1.85%，2.00%，1.07%，修正后比修正前偏差分别降低了1.28%，1.34%，1.51%。两种车的试验结果一致表明，甲醇含量越大，导致油耗偏差越大，主要原因为甲醇燃料含量增加后，燃料元素组分比例不同，燃烧生成的水分也不同。经修正模型修正后，甲醇含量越大，修正量也越大。

因此，不同燃料类型对碳平衡法油耗检测结果有显著影响，且该湿度修正模型对于不同燃料类型，均能显著提高碳平衡法油耗检测仪的检测精度。

#### 4 结论

(1) 汽车稀释排气流量与碳平衡法测得的油耗结果成正比，且汽车排气相对湿度较大，碳平衡法油耗检测过程的稀释排气流量需进行干、湿基转化。经分析，现有的气体干、湿基浓度转化公式用于修正碳平衡法油耗检测结果误差较大。

(2) 设计了直接采集稀释排气温度、压强和相对湿度的参数采集系统，建立了稀释排气干、湿基转化修正模型，实现了排气湿度对油耗的修正。

(3) 对不同环境温度和燃料类型进行的油耗试验结果表明，通过湿度修正模型对油耗检测结果修正后，碳平衡油耗仪的检测结果与质量式油耗仪的检测结果偏差均明显低于修正前。该修正模型对不同环境温度和燃料类型有效，可显著提高碳平衡油

耗仪的测量精度。

#### 参考文献:

#### References:

- [1] 祖力, 王云鹏, 李世武, 等. 汽车油耗检测的不解体方法: 碳平衡法 [J]. 长春理工大学学报, 2007, 30 (2): 80-83.  
ZU Li, WANG Yun-peng, LI Shi-wu, et al. The Undisassembly Method of the Motor Vehicle Fuel Consumption Measurement: Carbon Balance Method [J]. Journal of Changchun University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2007, 30 (2): 80-83.
- [2] 张学敏, 葛蕴珊, 张昱, 等. 利用碳平衡法进行汽车油耗测量的应用研究 [J]. 车用发动机, 2005 (3): 56-58.  
ZHANG Xue-min, GE Yun-shan, ZHANG Yu, et al. Research on Fuel Consumption Measurement Using Carbon Balance Method [J]. Vehicle Engine, 2005 (3): 56-58.
- [3] GB17691—2005, 车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物排放限值及测量方法 (中国Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ阶段) [S].  
GB17691—2005, Limits and Measurement Methods for Exhaust Pollutions from Compression Ignition and Gas Fuelled Positive Ignition Engines of Vehicles [S].
- [4] GB19756—2005, 三轮汽车和低速货车用柴油机排气污染物排放限值及测量方法 (中国Ⅰ、Ⅱ阶段) [S].  
GB19756—2005, Limits and Measurement Methods for Exhaust Pollutions from Diesel Engines of Tri-wheel & Low-speed Goods Vehicles [S].
- [5] GB/T 18566—2011, 道路运输车辆燃料消耗量检测评价方法 [S].  
GB/T 18566—2011, Inspection and Evaluation of Fuel Consumption for Road Transport Vehicle [S].
- [6] 王云鹏, 刘瑞昌, 祖力, 等. 基于汽油含碳量的碳平衡法模型 [J]. 公路交通科技, 2004, 21 (12): 127-129.  
WANG Yun-peng, LIU Rui-chang, ZU Li, et al. A Carbon Method Model Based on Gasoline Carbon Content [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21 (12): 127-129.
- [7] 张学利, 刘富佳, 蔡凤田, 等. 基于Vmas的碳平衡法汽车油耗测量误差影响分析 [J]. 公路交通科技, 2010, 27 (10): 138-141.  
ZHANG Xue-li, LIU Fu-jia, CAI Feng-tian, et al. Research on Influencing Factors on Errors of Vehicle Fuel Consumption Measured by Carbon Balance Method Based on

- Vmas [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2010, 27 (10): 138-141.
- [8] 高有山,王斌,王爱红. 碳平衡法测量汽车油耗的误差影响因素分析 [J]. 车辆与动力技术, 2009 (1): 40-42.
- GAO You-shan, WANG Bin, WANG Ai-hong. Error Component Analysis on Fuel Consumption Measurement Using Carbon Balance Method [J]. Vehicle & Power Technology, 2009 (1): 40-42.
- [9] 张学利,刘福佳. 汽车燃油经济性检测 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
- ZHANG Xue-li, LIU Fu-jia. Vehicle Fuel Economy Inspection [M]. Beijing: China Communications Press, 2010.
- [10] 王波. 碳平衡法测量汽车燃油消耗量的试验研究 [D]. 西安: 长安大学, 2006.
- WANG Bo. Experimental Research of Vehicle Fuel Consumption Measurement Based on Carbon Balance Method [D]. Xi'an: Chang'an University, 2006.
- [11] 李兴虎. 汽车环境污染与控制 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- LI Xin-hu. Automobile Environmental Pollution and Control [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2011.
- [12] 刘军,高建立,穆桂脂,等. 基于碳平衡法的汽车燃油消耗量快速测量系统开发 [J]. 内燃机工程, 2008, 29 (6): 74-76.
- LIU Jun, GAO Jian-li, MU Gui-zhi, et al. Development of a Vehicle Fuel Consumption Rapid Testing System Based on Carbon Balance Method [J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2008, 29 (6): 74-76.
- [13] 王羽. 汽车油耗快速检测系统的开发和试验 [D]. 长春: 吉林大学, 2003.
- WANG Yu. Development and Examination of the System for Rapid Detecting Vehicle Fuel Consumption [D]. Changchun: Jilin University, 2003.
- [14] 刘军,姚健,高建立,等. 汽车燃油消耗量快速测量系统研究 [J]. 汽车技术, 2008 (4): 47-50.
- LIU Jun, YAO Jian, GAO Jian-li, et al. Research of Vehicle Fuel Consumption Rapid Testing System [J]. Automobile Technology, 2008 (4): 47-50.
- [15] 方茂东,郑贺悦. 基于碳平衡法的汽车油耗测量方法 [J]. 汽车工程, 2003, 25 (3): 295-297.
- FANG Mao-dong, ZHENG He-yue. Fuel Consumption Measurement for Motor Vehicle Based on Carbon Balance Method [J]. Automotive Engineering, 2003, 25 (3): 295-297.
- +++++
- (上接第112页)
- [11] 杨秀建,李耀平,熊坚. 半挂汽车列车横向稳定性与失稳机理分析 [J]. 汽车工程, 2011, 33 (6): 486-492.
- YANG Xiu-jian, LI Yao-ping, XIONG Jian. Analysis on the Lateral Stability and Instability Mechanism of Tractor-Semitrailer Combination [J]. Automotive Engineering, 2011, 33 (6): 486-492.
- [12] HAC A, FULK D, CHEN H. Stability and Control Considerations of Vehicle-Trailer Combination [J]. SAE International Journal of Passenger Cars Mechanical Systems, 2009, 1 (1): 925-937.
- [13] 杨涛,宋丹丹. 弯道路面车辆稳定性的预测控制仿真 [J]. 公路交通科技, 2012, 29 (10): 149-153.
- YANG Tao, SONG Dan-dan. Simulation of Predictive Control for Vehicle Yaw Stability on Curve [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 29 (10): 149-153.
- [14] TARYOUNG C, KYONGSU Y. Design and Evaluation of Side Slip Angle Based Vehicle Stability Control Scheme on a Virtual Test Track [J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2006, 14 (2): 224-234.
- [15] 富子丞. 营运客车侧翻稳定性及其控制算法研究 [D]. 西安: 长安大学, 2012.
- FU Zi-cheng. Research on Rollover Stability and Control Algorithm for Commercial Motor-vehicle [D]. Xi'an: Chang'an University, 2012.
- [16] 余志生. 汽车理论 [M]. 5版. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- YU Zhi-sheng. Automobile Theory [M]. 5th ed. Beijing: China Machine Press, 2009.
- [17] 徐中明,于海兴,伍小龙,等. 车辆侧翻指标与侧翻风险因素分析 [J]. 重庆大学学报, 2013, 36 (3): 25-31.
- XU Zhong-ming, YU Hai-xing, WU Xiao-long, et al. Analysis on Rollover Index and Rollover Risk Factors of Vehicles [J]. Journal of Chongqing University, 2013, 36 (3): 25-31.
- [18] 王超深. 公路弯道路段交通事故分析及安全对策研究 [D]. 西安: 长安大学, 2010.
- WANG Chao-shen. Analysis of Traffic Accidents in Curve and Safety Countermeasures [D]. Xi'an: Chang'an University, 2010.
- [19] 何杰,刘霞,陈一锴,等. 恶劣天气路面条件对行车安全的影响 [J]. 交通运输工程学报, 2011, 11 (1): 58-63.
- HE Jie, LIU Xia, CHEN Yi-kai, et al. Influence of Road Condition on Running Safety in Atrocious Weather [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2011, 11 (1): 58-63.