

碳平衡法汽车燃料消耗量检测仪校准方法开发

郭 威, 黄彦捷, 花秀兵

广东省计量科学研究院, 广东省现代几何与力学计量技术重点实验室, 广东 广州

Email: yjhuang@scm.com.cn

收稿日期: 2021年4月30日; 录用日期: 2021年6月1日; 发布日期: 2021年6月9日

摘 要

碳质量平衡法是一种新兴的简介测量汽车燃料消耗量的方法, 实际使用时需要碳平衡法汽车燃料消耗量检测仪作为标准测量仪器进行校准, 利用利用燃料在发动机中燃烧后排气中的碳质量总和与燃料燃烧前的碳质量总和相等的质量守恒定律间接测量汽车燃料消耗量。根据实际需求, 开发了一种碳平衡法汽车燃料消耗量检测仪校准方法, 依据计量学研究的评价方式及不确定度评估方法, 对含碳气体浓度测量装置示值误差、含碳气体浓度测量装置重复性、流量测量装置流量示值误差及流量测量装置流量重复性等计量项目进行校准, 并给出了典型设备的校准结果及不确定度评定实例, 保证碳平衡法汽车燃料消耗量检测仪的检测结果准确可比, 切实维护消费者的权益。

关键词

碳平衡法, 校准, 汽车燃料消耗

Development of Calibration Method for Vehicle Fuel Consumption Instrument Based on Carbon Balance Method

Wei Guo, Yanjie Huang, Xiubin Hua

Guangdong Provincial Key Laboratory of Modern Geometric and Mechanical Metrology Technology,

Guangdong Provincial Institute of Metrology, Guangzhou Guangdong

Email: yjhuang@scm.com.cn

Received: Apr. 30th, 2021; accepted: Jun. 1st, 2021; published: Jun. 9th, 2021

Abstract

Carbon mass balance method is a new method to measure vehicle fuel consumption. In practice,

the vehicle fuel consumption detector with carbon mass balance method needs to be calibrated as a standard measuring instrument. Using the law of conservation of mass that the sum of carbon mass in exhaust after fuel combustion is equal to the sum of carbon mass before fuel combustion, the fuel consumption of automobile is indirectly measured. According to actual needs, developed a carbon balance method of vehicle fuel consumption meter calibration method, based on the metrology research way of evaluation and uncertainty evaluation method, for the value of the carbon gas concentration measurement device error, repeatability of carbon gas concentration measurement device, the flow measurement device flow and flow measurement device of error of flow repeatability measurement project for calibration, the calibration results and uncertainty evaluation examples of typical equipment are given to ensure the accuracy and comparability of the testing results of the automobile fuel consumption detector for carbon balance method and protect the rights and interests of consumers effectively.

Keywords

Carbon Balance Method, Calibration, Vehicle Fuel Consumption

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

汽车燃料消耗量指的是行驶一定里程时汽车所消耗燃油的升数, 单位是 L/100 km, 即行驶 100 公里所消耗燃油的升数。其数量越小, 汽车燃料经济性越好。燃料消耗量的测量方法主要可以分为两大类: 直接测量法和间接测量法[1] [2] [3]。直接测量法, 即是通过拆开发动机油路接入流量测量仪器直接测得燃油消耗量, 主要有容积法、质量法等。间接测量法即不解体测量法, 包括碳平衡法、超声波法、电喷测量法、空燃比测量法、放射性跟踪法。

碳质量平衡法(简称碳平衡法)是一种新兴的简介测量汽车燃料消耗量的方法[4] [5]。其原理是燃油在发动机中燃烧后排气中碳(C)质量总和等于燃油燃烧前的碳(C)质量之和, 检测汽车燃油消耗量。汽车燃油燃烧后生成不同量的二氧化碳、一氧化碳、碳氢化合物、水(包括气态和液态)以及碳氢化物等物质, 通过测量汽车排放物 CO₂、CO 和碳氢化合物(简称: HC)气体中含碳质量从而推算出汽车燃油消耗量[6] [7] [8]。使用该方法进行测量时, 需要碳平衡法汽车燃料消耗量检测仪作为标准测量仪器进行校准。

碳平衡法汽车燃料消耗量检测仪是利用燃料在发动机中燃烧后排气中的碳质量总和与燃料燃烧前的碳质量总和相等的质量守恒定律间接测量汽车燃料消耗量的设备。碳平衡法检测仪主要由含碳气体浓度测量装置(简称浓度测量装置)、稀释排气流量测量装置、排气稀释收集装置和测控系统等构成。该仪器应用面较广且使用率较高, 然而在广东省乃至全国范围内目前还缺少该设备的校准规程, 因此亟需开发相关的校准方法, 对气体浓度及流量等量值溯源[9] [10], 保证碳平衡法汽车燃料消耗量检测仪的检测结果准确可比, 切实维护消费者的权益。

2. 仪器设备及计量特性

2.1. 校准环境

环境温度: (0~40)°C; 环境相对湿度: 不大于 85%; 环境大气压力: (86~106) kPa; 并配有电源: 额

定电压为(220 ± 22) V。

2.2. 仪器设备

标准流量计：测量范围：(4~40) m³/min，准确度等级：1.5 级。

气体标准物质：应具有国家质量监督检验检疫总局批准的标准物质证书，应采用气体钢瓶包装或用动态容积法来制备，并应在有效期内使用。标准气体成分的不确定度应不大于 1%，对于含量不大于 1000 μmol/mol 的丙烷，不确定度允许不大于 2%。低、中、高量程校准用标准气体成分见表 1。

Table 1. Composition of standard gases for low, medium and high range calibration

表 1. 低、中、高量程校准用标准气体成分

校准气	低量程	中量程	高量程
CO (%mol/mol)	0.04	0.2	0.8
C ₃ H ₈ (μmol/mol)	50	200	800
CO ₂ (%mol/mol)	0.4	2.0	3.2

注：标准气体配置的标称值的变化范围不应超过表 1 所规定标准值的±15%。

2.3. 含碳气体浓度示值误差试验

含碳气体浓度测量装置预热后调零。通入规定的气体标准物质，待示值稳定后读数，记录通入后的实际数值。重复上述步骤 3 次，计算 3 次测量值的算术平均值 \bar{A} ，按式(1)、式(2)计算仪器各校准点的示值误差。

$$\Delta_e = \bar{A} - A_s \quad (1)$$

$$\Delta_{rel} = (\bar{A} - A_s) / A_s \quad (2)$$

式中： \bar{A} ——含碳气体浓度三次读数的算术平均值，mol/mol；

A_s ——含碳气体浓度标准值，mol/mol；

Δ_e ——绝对误差，mol/mol；

Δ_{rel} ——相对误差，%。

含碳气体浓度测量装置示值误差应满足表 2 的规定。

Table 2. Indication error requirements of carbon gas concentration measuring device

表 2. 含碳气体浓度测量装置示值误差要求

气体成分	相对误差	绝对误差
CO	±2%	±0.02 %mol/mol
HC	±3%	±4 μmol/mol
CO ₂	±2%	±0.02 %mol/mol

2.4. 含碳气体浓度重复性试验

含碳气体浓度测量装置经预热稳定后，用零点校准气校准仪器零点后，再通入规定的中量程校准气体，待读数稳定后，记录测量值。重复上述测量步骤 6 次，分别记录读数。重复性以相对标准偏差表示。按式(3)计算仪器的重复性：

$$\Delta_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (A_i - \bar{A})^2}{5}} \quad (3)$$

式中： \bar{A} ——仪器显示值，mol/mol；

A_i ——6次测量示值的算术平均值，mol/mol。

最终要求含碳气体浓度测量装置重复性应不大于表2规定误差绝对值的1/3。

2.5. 流量测量装置流量示值误差试验

选取标准流量计，将其置于被校准流量计之后，试验装置布置如图1所示。风机可进行流量调整。各接头应不漏气，启动风机，以标准流量计读数为标准值，调整风机流量，选择被校准流量计约满量程的20%、50%和80%三点进行测量，重复3次，取算术平均值作为各点测量值。按式(4)计算仪器各校准点的示值误差。

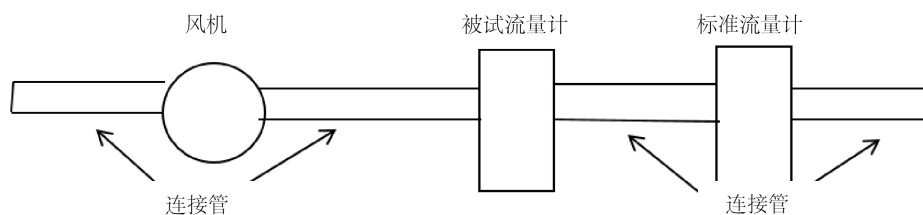


Figure 1. Layout of test device
图1. 试验装置布置示意图

$$E_{ij} = \frac{q_{ij} - (q_s)_{ij}}{(q_s)_{ij}} \times 100\% \quad (4)$$

式中： E_{ij} ——流量示值误差，%；

q_{ij} ——稀释排气流量测量装置示值， m^3/min ；

$(q_s)_{ij}$ ——标准流量计示值测量值， m^3/min 。

最终要求流量测量装置流量示值误差不大于 $\pm 3\%$ 。

2.6. 稀释排气流量测量装置流量重复性试验

将流量测量装置接通电源，将排气稀释管摆直。调整风机流量，选择被试流量计满量程的50%点进行测试，待示值稳定至少30s后，开始读数。重复以上步骤，共试验6次，按式(3)计算相对标准偏差。最终要求流量测量装置流量重复性不大于1%。

3. 典型测量结果及不确定度

以某一次代表性设备(广州市福立分析仪器有限公司)测量含碳气体浓度测量装置示值误差为例。碳平衡油耗仪是建立在准确测量稀释气体流量，分析含碳组分气体浓度，根据稀释气体的温度压力条件进行质量转换计算的精密仪器。为把控仪器的综合性能，整机动态的检验方法就显得非常重要，因此在做好流量检验标定和气体分析器检验标定之后，将总精度调试检验作为最后环节，对其风机，稀释管道，取样气路，电磁阀动作，气体分析器以及程序运行和计算各个环节作为一个总体进行校准，试验装置布置如图2所示，进行组份气体喷射试验，测量含碳气体浓度测量装置示值误差。进行测量不确定度评估，其不确定度分量包括：气体标准物质引入的标准不确定度、被测仪器重复性引入的标准不确定度及被测

仪器读数(分辨力)引入的标准不确定度。

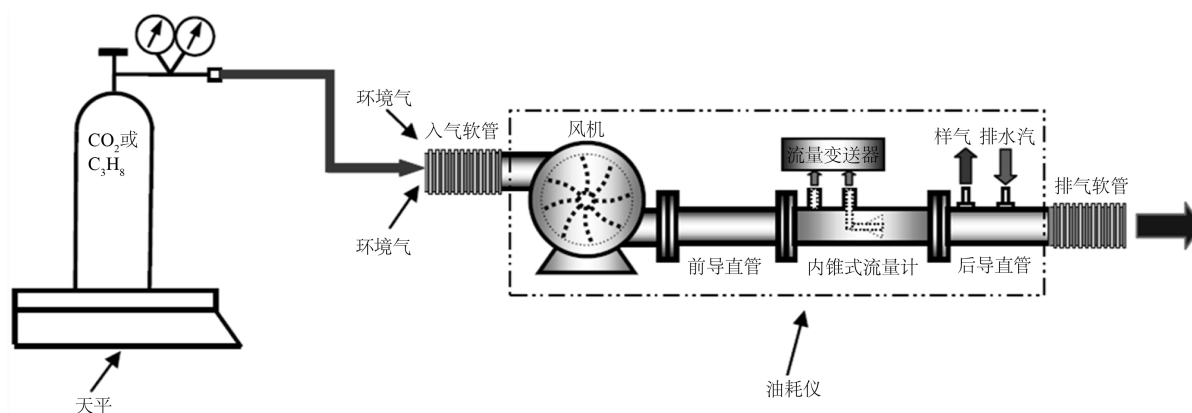


Figure 2. Schematic diagram of component gas injection test
图 2. 组份气体喷射试验示意图

3.1. 气体标准物质引入的标准不确定度

由气体标准物质引入的标准不确定度 $u(A_s)$, 用 B 类标准不确定度评定, 由气体标准物质证书可知, 标准气体的相对扩展不确定度 $U_{rel} = 1\%$, 包含因子 $k = 2$, 所以:

$$u_{(HC)}(A_s) = 50 \mu\text{mol/mol} \times 1\%/2 = 0.3 \mu\text{mol/mol};$$

$$\text{同理 } u_{(CO)}(A_s) = 0.0002 \text{ \%mol/mol}, \quad u_{(CO_2)}(A_s) = 0.002 \text{ \%mol/mol}.$$

3.2. 被测仪器重复性引入的标准不确定度

用 A 类标准不确定度评定 $u(A_1)$ 。将中量程气体标准物质通入被测仪器, 待示值稳定后, 重复测量 10 次, 分别读取测量值, 计算其标准偏差, 而实际校准测量中, 重复次数 3 次, 故:

$$u_{(HC)}(A_1) = 1 \mu\text{mol/mol} / \sqrt{3} = 0.6 \mu\text{mol/mol};$$

$$\text{同理 } u_{(CO)}(A_1) = 0.0005 \text{ \%mol/mol}, \quad u_{(CO_2)}(A_1) = 0.006 \text{ \%mol/mol}.$$

3.3. 被测仪器读数(分辨力)引入的标准不确定度

被测仪器读数(分辨力)引入的标准不确定度 $u(A_2)$, 用 B 类标准不确定度评定。如被测仪器的 HC 分度值为 $1 \mu\text{mol/mol}$, 半宽度 $0.5 \mu\text{mol/mol}$, 按均匀分布, 故有:

$$u_{(HC)}(A_2) = 0.5 \mu\text{mol/mol} / \sqrt{3} = 0.3 \mu\text{mol/mol};$$

$$\text{同理 } u_{(CO)}(A_2) = 0.0003 \text{ \%mol/mol}, \quad u_{(CO_2)}(A_2) = 0.0003 \text{ \%mol/mol}.$$

3.4. 合成标准不确定度

$$u_{(HC)}(\Delta) = \sqrt{0.3^2 + 0.6^2 + 0.3^2} = 0.7 \mu\text{mol/mol};$$

$$\text{同理, } u_{(CO)}(\Delta) = 0.0006 \text{ \%mol/mol}, \quad u_{(CO_2)}(\Delta) = 0.006 \text{ \%mol/mol}.$$

经计算, 含碳气体浓度测量装置示值误差满足表 2 中的计量要求。

4. 结论

本文依据计量学研究的评价方式及不确定度评估方法, 通过对碳平衡法汽车燃料消耗量检测仪的含碳气体浓度测量装置示值误差、含碳气体浓度测量装置重复性、流量测量装置流量示值误差及流量测量

装置流量重复性进行校准，并给出典型不确定度分析案例，明确了碳平衡法汽车燃料消耗量检测仪校准过程，确保了检测结果的准确及计量溯源性。

基金项目

本文感谢广东省市场监管局科技项目 2020HBZ01 及广东省计量科学研究院科技项目 SCM201901 的支持。

参考文献

- [1] 崔连波. 乘用车燃料消耗量检测不确定度评定[J]. 汽车技术, 2012, 444(9): 45-48.
- [2] 阳冬波, 骆玲. 天然气汽车燃料消耗量测量方法现状分析[J]. 交通节能与环保, 2014(2): 14-17.
- [3] 郭昌伦. 混合动力轿车燃料消耗量检测与计算[J]. 汽车工程师, 2014(12): 52-53.
- [4] 李平飞, 张小龙, 程玉华. 基于碳平衡法测量汽车燃料消耗量的方法研究[J]. 轻型汽车技术, 2005(4): 14-16.
- [5] 刘军, 李衍德, 郭晨海, 等. 碳平衡法燃油消耗量测试仪的开发[J]. 车用发动机, 2007(1): 30-34.
- [6] 孙丽玮, 王生昌, 王晓东, 等. 基于碳平衡法的柴油车燃油消耗计算模型[J]. 小型内燃机与车辆技术, 2010, 39(2): 67-69.
- [7] 杜林森, 仝晓平, 刘元鹏. 基于碳平衡法的汽车燃料消耗量检测试验研究[J]. 汽车维护与修理, 2016(7): 75-78.
- [8] 中华人民共和国交通运输部. JJF(交通)127-2015 碳平衡法汽车燃料消耗量检测仪[S]. 北京: 人民交通出版社, 2015.
- [9] 谢昭群, 张猛, 贾钠钧, 等. 环氧乙烷检测仪的校准方法研究[J]. 仪器与设备, 2019, 7(1): 53-57.
- [10] 张猛, 贾钠钧, 谢昭群, 等. 卤素气体检漏仪的校准方法研究[J]. 广东化工, 2019, 46(4): 158-159.