

燃油加油机检定示值误差测量结果不确定度评定分析

杨亮

天津市蓟州区计量检定所

DOI: 10.12238/jpm.v5i9.7195

[摘要] 燃油加油机作为油品贸易结算的计量设备, 计量是否准确, 是人们关心的热点问题。本文通过自身的工作经验和实际工作中遇到的问题, 谈一下关于燃油加油机示值误差测量结果不确定度评定的方法。

[关键词] 加油机; 不确定度

Analysis of uncertainty assessment of measurement results of fuel tanker test

Yang Liang

Tianjin Jizhou District Metrology Verification Institute

[Abstract] As a measuring equipment of oil trade settlement, whether the measuring machine is accurate is a hot issue that people are concerned about. Through their own work experience and the problems encountered in the actual work, this paper talks about the method of uncertainty evaluation of the value error measurement results of the fuel tanker.

[Keywords] refueling machine uncertainty

一、概述

1. 测量依据

JJG443-2023《燃油加油机(试行)》

2. 测量方法

在规定的测量环境条件下, 采用标准金属量器直接测量被检加油机输出油的体积, 可得到加油机示值与标准金属量器测得值之差, 即为加油机的示值误差。

3. 测量用标准器

检定仪器: 二等标准金属量器 50L (不锈钢材质)、数字温度计 (分度值为 0.1 °C)、秒表 (分度值为 0.01s)。

4. 环境条件

温度在 -25 °C ~ +55 °C, 相对湿度 ≤ 95%RH, 检定过程中环境温度变化不超过 5 °C。

5. 检定介质: 汽油

二、数学模型及灵敏度系数

1. 数学模型

$$V_{Bt} = V_B [1 + \beta_V (t_J - t_B) + \beta_B (t_B - 20)]$$

式中: V_{Bt} —量器在 t_J 下给出的实际体积, L;

V_B —量器在 20 °C 下给出的标准容积, L;

β_V —检定介质的体膨胀系数, °C⁻¹;

β_B —量器材质的体膨胀系数, °C⁻¹;

t_J —加油机内流量测量变换器输出的油温 (由油枪口处油温替代), °C;

t_B —量器内的油温, °C。

2. 灵敏系数

$$C_1 = C(V_J) = 1$$

$$C_2 = C(V_B) = - [1 + \beta_V (t_J - t_B) + \beta_B (t_B - 20)]$$

$$C_3 = C(\beta_V) = - V_B (t_J - t_B)$$

$$C_4=C(\beta_B)=-V_B(t_B-20)$$

$$C_5=C(t_J)=-V_B \times \beta_V$$

$$C_6=C(t_B)=V_B(\beta_V-\beta_B)$$

三、灵敏系数计算

加油机在 Q_1 和 Q_2 流量点下用50L标准金属量器进行重复测量3次。

测量次数	Q_1 流量点		Q_2 流量点	
	油枪出口油温(°C)	量器内油温(°C)	油枪出口油温(°C)	量器内油温(°C)
1	28.3	28.8	27.6	28.3
2	27.7	28.6	27.7	28.3
3	27.8	28.7	28.1	28.4
平均值	27.9	28.7	27.8	28.3
取值(Q_1 流量)	$t_J=27.9^\circ\text{C}; t_B=28.7^\circ\text{C}; (t_J-t_B)=-0.8^\circ\text{C}$			
取值(Q_2 流量)	$t_J=27.8^\circ\text{C}; t_B=28.3^\circ\text{C}; (t_J-t_B)=-0.5^\circ\text{C}$			
其他量值	$\beta_V=12 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}; \beta_B=50 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}; V_B=50\text{L}$			

以上数据代入灵敏系数公式可得出：

灵敏系数	C_1	C_2	$C_3(\text{L}^\circ\text{C})$	$C_4(\text{L}^\circ\text{C})$	$C_5(\text{L}^\circ\text{C}^{-1})$	$C_6(\text{L}^\circ\text{C}^{-1})$
Q_1 流量	1	-0.999475	40	-435	-0.06	0.0575
Q_2 流量	1	-0.999815	25	-415	-0.06	0.0575

四、标准不确定度分量的评定

1. 标准金属量器引入的不确定度分量

50L的二等标准金属量器，根据测量最大允许误差I MPE I 与标准不确定度的关系： $u(V_B)=I \text{ MPE I} / \sqrt{3}$ （按等概率分布在±MPE区间内，取 $U=2.5 \times 10^{-4}$ ， $k=\sqrt{3}$ ），所以其标准不确定度为：

$$u(V_B)=50 \times 2.5 \times 10^{-4} / \sqrt{3}=0.007 \text{ L}$$

2. 标准金属量器体膨胀系数引入的不确定度分量

标准金属量器体膨胀系数 $\beta_B=50 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ，界限为± $5 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ，均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ，所以其标准不确定度为：

$$u(\beta_B)=5 \times 10^{-6} / \sqrt{3}=2.89 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

3. 油品的体膨胀系数引起不确定度分量

油品为汽油，其膨胀系数 $\beta_V=12 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ，界限为± $12 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ，均匀分布， $k=\sqrt{3}$ ，所以其标准不确定度为：

$$u(\beta_V)=12 \times 10^{-5} / \sqrt{3}=6.93 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

4. 标准金属量器内油温度测量引入的不确定度分量

标准金属量器内油温度，主要由温度计的最大允许误差引起， $u(t_B)=0.5e/\sqrt{3}$ （半宽为0.5e，按均匀分布），所以其标准不确定度为：

$$u(t_B)=0.5e/\sqrt{3}=0.5 \times 0.1/\sqrt{3}=0.029^\circ\text{C}$$

5. 加油机中油温度测量引入的不确定度分量

在检测中用油枪口处油温度代替加油机流量计内部油温，主要由温度计的最大允许误差引起， $u(t_B)=0.5e/\sqrt{3}$ （半宽为0.5e，按均匀分布），所以其标准不确定度为：

$$u(t_B)=0.5e/\sqrt{3}=0.5 \times 0.1/\sqrt{3}=0.029^\circ\text{C}$$

6. 测量引入的不确定度分量

加油机在 t_J 下体积值的标准不确定度 $u(V_J)$ ，主要是由测量重复性 $u_1(V_J)$ 和加油机分辨率 $u_2(V_J)$ 引入。

根据检定规程，加油机分别在 Q_1 和 Q_2 流量点下用50L标准金属量器独立重复测量3次，根据测量的数据结果，按极差法计算，极差系数 $d_n=1.69$ 。

测量点	Q_1 流量点			Q_2 流量点		
	1	2	3	1	2	3
加油机示值(L)	50.06	50.11	50.15	50.16	50.04	50.07
实际体积值(L)	49.998	50.053	50.084	50.089	49.982	50.021
$s(V_J)$ (L)	0.051			0.063		

因采用 3 次测量结果的平均值作为测量结果，所以加油机测量重复性引入的不确定度分量按 $u_1(V_j) = s(V_j) / \sqrt{3}$ 计算为：

测量点	Q ₁ 流量点	Q ₂ 流量点
$u_1(V_j)$ (L)	0.0294	0.0364

加油机由分辨力引入的不确定度分量 $u_2(V_j)$ ，加油机分辨力为 0.01L (半宽为 0.5e，按均匀分布)，所以其标准不确定度为： $u_2(V_j) = 0.5 \times 0.01 / \sqrt{3} = 0.0029L$ 。

这里因加油机分辨力引入的不确定度分量 $u_2(V_j)$ 远小于测量重复性引入的不确定度分量 $u_1(V_j)$ ，则可以把加油机分辨力引入的不确定度分量 $u_2(V_j)$ 忽略，直接考虑加油机重复性分量，即 $u(V_j) = u_1(V_j)$ ：

测量点	Q ₁ 流量点	Q ₂ 流量点
$u(V_j)$ (L)	0.0294	0.0364

五、标准不确定度分量一览表

$u(X_i)$	不确定度来源	标准不确定度		灵敏系数 C(X _i)		u(X _i) × C(X _i) (L)	
		Q ₁ 流量	Q ₂ 流量	Q ₁ 流量	Q ₂ 流量	Q ₁ 流量	Q ₂ 流量
$u(V_j)$	加油机测量重复性	0.0294L	0.0364L	1	1	0.0294	0.0364
$u(V_B)$	标准金属量器	0.007L		-0.999475	-0.999815	0.0070	0.0070
$u(\beta_V)$	油体膨胀系数	$6.93 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$		40 °C	25 °C	0.0028	0.0017
$u(\beta_B)$	量器体膨胀系数	$2.89 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$		-435 L $^\circ\text{C}$	-415 L $^\circ\text{C}$	0.0013	0.0012
$u(t_j)$	油枪口油温度	0.029 °C		0.0575 L $^\circ\text{C}^{-1}$	0.0575 L $^\circ\text{C}^{-1}$	0.0017	0.0017
$u(t_B)$	量器内温度	0.029 °C		-0.06 L $^\circ\text{C}^{-1}$	-0.06 L $^\circ\text{C}^{-1}$	0.0017	0.0017

六、合成标准不确定度

当加油机流量为 Q₂ 时， $U = k \times u_c \approx 0.0744$ L；加油机示值

根据上述“标准不确定度分量一览表”的数据，则合成标准不确定度：

$$u_c = \sqrt{c_{V_j}^2 u^2(V_j) + c_{V_B}^2 u^2(V_B) + c_{\beta_V}^2 u^2(\beta_V) + c_{\beta_B}^2 u^2(\beta_B) + c_{t_j}^2 u^2(t_j) + c_{t_B}^2 u^2(t_B)}$$

测量点	合成标准不确定度 u_c	
	Q ₁ 流量	Q ₂ 流量
u_c	0.0305 L	0.0372 L

七、包含因子

包含因子 k 取值 2。

八、扩展不确定度

当加油机流量为 Q₁ 时， $U = k \times u_c \approx 0.061L$ ；加油机示值误

差的相对扩展不确定度为 $U_{rel} = \frac{U}{V_{B1}} \times 100\% = \frac{0.061}{50.045} \times 100\% \approx$

0.122%，则：

$$U_{rel} = 0.12\%, k = 2$$

误差的相对扩展不确定度为 $U_{rel} = \frac{U}{V_{B1}} \times 100\% = \frac{0.0744}{50.031} \times 100\% \approx$

0.149%，则：

$$U_{rel} = 0.15\%, k = 2$$

九、结束语

测量不确定度评定是检测人员必须掌握的一项基本功。对燃油加油机示值误差不确定度的评定早已有之，因评定者考虑的影响因素不同，其评定方法、步骤也不尽相同。本文按照考核规范中的评定步骤，详细评定了燃油加油机检定过程中示值误差的不确定度，以供广大计量工作人员参考和借鉴。

[参考文献]

- [1]JJF1059.1-2012 测量不确定度评定与表示
- [2]JJF1033--2023 计量标准考核规范
- [3]JJG443-2023 燃油加油机（试行）检定规程