

轴组式动态公路自动衡示值误差测量结果的不确定度评定

□甘肃省计量研究院 沈新生

【摘要】本文依据JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》计量技术规范，结合实际计量检定工作，对典型的轴组式动态公路自动衡的不确定度进行了分析评定。首先建立了评定的测量模型；其次从静态、动态试验两个方面进行了不确定度来源的分析并进行了计算；最后求出了单轴、轴组和整车的合成和扩展不确定度。本文的研究，为动态公路车辆自动衡器的检定、校准和示值误差的不确定度评定提供了技术依据和实际参考。

【关键词】轴组式动态公路自动衡；测量模型；不确定度；评定

文献标识码：B

文章编号：1003-1870（2023）08-0044-04

引言

轴组式动态公路自动衡（以下简称“轴组式动态衡”）是当前高速（一级）公路收费站称重检测设备中使用最广泛、成本较低的一种典型计重衡器，其测量准确与否，直接关系到车辆的正常通行和道路交通安全。测量不确定度是与测量结果相关的参数，在长期的检定过程中，发现了一些影响轴组式动态衡计量准确性的因素。文中对这些因素引入的不确定度进行了分析计算，并对测量结果进行了不确定度评定。

1 基本概述

测量依据：JJG907-2006《动态公路车辆自动衡器》^[1]国家计量检定规程。

测量环境：环境温度在（-10~40）℃，且其温度变化率不超过5℃/h。

评定依据：JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》^[2]。

测量标准：测量范围在（0.5~30）t的M1等级标准砝码。

测量的辅助设备：最大秤量60t，分度值为20kg的电子汽车衡（控制衡器）一台；参考车辆（三轴厢式计量检衡车）。

被测对象：最大单轴或轴组载荷30t，整车总重量等级1级，单轴或轴组载荷准确度等级C级，分度值20kg，称重速度范围（1~10）km/h的轴组式动态衡。

测量过程：静态称重模式下，通过控制衡器测得参考车辆的约定真值，再使用参考车辆测量轴组式动态衡示值误差。其中，轴组式动态衡静态检定采用直接比较法；其动态检定采用比对法。首先确定参考车辆的单轴或轴组重量，其次按照规程要求以规定速度通过轴组式动态衡，获得参考车辆整车总重量示值以及单轴或轴组示值，并与其约定真值相比较。

2 测量模型

2.1 静态试验测量模型

被测轴组式动态衡示值误差由下式确定：

$$E = P - L$$

式中：\$E\$——轴组式动态衡的示值误差；

\$P\$——轴组式动态衡化整前示值。

$$P = I + 0.5d - \Delta L$$

\$L\$——标准砝码标称值；

\$I\$——被测衡器示值；

\$\Delta L\$——附加载荷值；

\$d\$——分度值。

2.2 动态试验测量模型

2.2.1 单轴（轴组）载荷试验

单轴（轴组）载荷示值误差是指单轴（轴组）单次称量试验的重量值与多次（一般为10次）称量试验的单轴（轴组）重量的修正平均值之差除以多次称量的单轴（轴组）重量的修正平均值^[3]。

$$E_A = \frac{A_i - \frac{\sum_{j=1}^n A_j}{n} \times \frac{TWV_{ref}}{TWV}}{\frac{\sum_{j=1}^n A_j}{n} \times \frac{TWV_{ref}}{TWV}} - 1$$

$$= \frac{A_i}{\frac{\sum_{j=1}^n A_j}{n} \times \frac{TWV_{ref}}{TWV}} - 1$$

测量模型：

$$n = 10$$

$$\text{或 } E_A = \frac{A_i}{A_{修}} - 1, \text{ 其中 } A_{修} = \frac{\sum_{j=1}^n A_j}{n} \times \frac{TWV_{ref}}{TWV}$$

式中：\$E_A\$——单轴（轴组）称量误差；

\$A_i\$——单次单轴（轴组）称量示值；

\$A_j\$——车辆典型速度过衡的称量示值；

\$A_{修}\$——\$n\$次单轴（轴组）载荷称量示值的修正平均值；

\$TWV_{ref}\$——整车静态确定的参考车辆总重的约定真值；

\$\overline{TWV}\$——参考车辆称量总重的平均值。

2.2.2 整车总重量试验测量模型

整车总重量的称量误差是将单轴（轴组）载荷称量值累加得到整车总重量示值与静态称重模式下整车总重的约定真值 \$TWV_{ref}\$ 之差除以 \$TWV_{ref}\$。

测量模型：

$$E_{TMV} = \frac{\sum_{i=1}^m A_i - TWV_{ref}}{TWV_{ref}} = \frac{\sum_{i=1}^m A_i}{TWV_{ref}} - 1$$

$$\text{即 } E_{TMV} = \frac{TWV}{TWV_{ref}} - 1$$

式中：\$E_{TMV}\$——整车总重量的示值误差；

\$m\$——单轴（轴组）的轴（轴组）数。

3 测量结果的不确定度评定

3.1 静态试验测量结果的不确定度评定

对轴组式动态衡进行称重试验时以下因素都可能影响其测量结果^[4]：①标准砝码的质量值不准；②称重仪表显示值的分辨率；③测量重复性；④人员操作不准导致误差的存在；⑤测量方法和程序与试验规定的方法和程序不一致；⑥试验环境对测量结果的影响。其中，后三者对测量结果的影响较小且不易量化。因此，文中只计算前三者对测量结果的不确定度影响。

3.1.1 标准砝码引入的标准不确定度 \$u_1\$

对最大单轴或轴组载荷30t，\$e=20\text{kg}\$的1级轴组式动态衡进行试验，采用30个1t的标准砝码组合而成进行静态检定。由JJG99-2006《砝码》^[5]检定规程可知，1t的\$M_1\$等级标准砝码MPE=50g，在试验中使用砝码的标称值且服从矩形分布，其标准不确定度为：

$$u_1 = 30 \times \frac{|MPE|}{\sqrt{3}} = 30 \times \frac{50}{\sqrt{3}} = 0.866 \text{ kg}$$

3.1.2 显示分辨率引入的标准不确定度 \$u_2\$

静态试验的测得值是用“闪变法”求出的，\$d=20\text{kg}\$，则分辨力为 \$\delta_x = d/10 = 2\text{kg}\$，\$\delta_x\$ 分布可看作均匀分布处理，其半宽度为 \$\delta_x/2 = 1\text{kg}\$，则：

$$u_2 = \frac{\delta_x}{2\sqrt{3}} = 0.577 \text{ kg}$$

3.1.3 示值测量重复性引入的标准不确定度 \$u_3\$

用标准砝码在重复性条件下对轴组式动态衡进行10次连续称量试验，利用“闪变法”得到化整前的示值为：30006kg、30008kg、30010kg、30000kg、30004kg、29996kg、30006kg、30004kg、30006kg、

30008kg。则其算术平均值为：

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i = 30004.8 \text{kg}$$

单次试验的试验标准差为：

$$s_p = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} = 2.94 \text{kg}$$

通常情况下，以平均值的试验标准偏差作为测量结果的标准不确定度，则：

$$u_3 = \frac{s_p}{\sqrt{10}} = \frac{2.94}{\sqrt{10}} = 0.93 \text{kg}$$

3.1.4 合成标准不确定度的评定

在不确定度的评定方法中，重复性和显示分辨力引入的标准不确定度的取其大者，根据上述计算可得，取 $u_3 = 0.93 \text{kg}$ ，以上标准不确定度分量相关性无关，则合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2} = 1.27 \text{kg}$$

3.1.5 扩展不确定度的评定

扩展不确定度 U 由合成标准不确定度 u_c 乘以包含因子 k 得到。则：

$$U = k u_c = 2.5 \text{kg}, k = 2$$

3.1.6 测量结果的表示

最大单轴或轴组载荷30t，分度值为20kg，整车总重量等级1级的轴组式动态衡在30t称量试验时，测量结果为 $P = (30004.8 \pm 2.5) \text{kg}$ ， $k = 2$ 。

3.2 动态试验测量结果的不确定度评定

本次评定以整车总重量1级、分度值20kg、最大单轴或轴组载荷30t的轴组式动态衡为基础，采用三轴厢式计量检衡车作为试验参考车辆，分析并计算单轴（前轴） A_1 、轴组（后轴） A_2 及整车TMV的标准不确定度。

在试验中，参考车辆的燃油消耗导致整车总重量会有一点变化。由于试验时间较短，燃油消耗引起的标准不确定度可忽略不计^[6]。影响测量结

果的不确定度来源主要有：控制衡器的允许误差、控制衡器的显示分辨力、被测轴组式动态衡的分辨力以及测量重复性等。在试验中，以前轴载荷约定真值为7900kg，后轴组载荷约定真值为18900kg， $TMV_{ref}=26800 \text{kg}$ 的三轴厢式计量检衡车为例。

3.2.1 A_1 、 A_2 及TMV 的标准不确定度

(1) 控制衡器示值允许误差引入的标准不确定度 u_a

前轴载荷7900kg、后轴组载荷18900kg及整车26800kg处控制衡器的最大允许误差分别为0.5e和1.0e， u_a 可按均匀分布处理，则

$$u_{a(A_1)} = \frac{0.5e}{\sqrt{3}} = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5.77 \text{kg}$$

$$u_{a(A_2)} = u_{a(TMV)} = \frac{1.0e}{\sqrt{3}} = \frac{20}{\sqrt{3}} = 11.55 \text{kg}$$

(2) 控制衡器分辨力引入的标准不确定度 u_{r1}

因控制衡器的分度值为20kg，无论单轴（轴组）称量还是整车称量处均可采用“闪变法”，其数字显示值的分辨率为 $\delta_x = 0.1e$ ， δ_x 分布可看作均匀分布处理，其半宽度为 $\delta_x/2 = 1 \text{kg}$ ，则：

$$u_{r1} = \frac{\delta_x}{2\sqrt{3}} = 0.58 \text{kg}$$

(3) 被测轴组式动态衡分辨力引入的标准不确定度 u_{r2}

因为轴组式动态衡的分度值 $d = 20 \text{kg}$ （无法用“闪变法”）， δ_x 分布可看作均匀分布，其区间半宽度为 $\delta_x/2 = 10 \text{kg}$ ，则

$$u_{r2} = \frac{\delta_x}{2\sqrt{3}} = 5.77 \text{kg}$$

(4) 测量重复性引入的标准不确定度

对被测轴组式动态衡使用三轴计量检衡车以规定速度进行10次动态称量试验，其结果如下表所示。

表 动态称量试验重复性测量结果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A_1 (kg)	7920	7960	7980	7920	7940	7980	7960	7980	7940	7920

续表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A_2 (kg)	18920	18940	18920	18900	18960	18940	18960	18920	18960	18940
TMV (kg)	26840	26900	26900	26820	26900	26920	26920	26900	26900	26860

输入量 A_1 、 A_2 及 TMV 的算术平均值为:

$$\bar{A}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{1(i)} = 7950 \text{kg}; \quad \bar{A}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{2(i)} = 18936 \text{kg}; \quad \overline{\text{TWV}} = \bar{A}_1 + \bar{A}_2 = 26886 \text{kg}$$

输入量 A_1 、 A_2 及 TMV 的试验标准不确定度为:

$$s_{A_1} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (A_{1(i)} - \bar{A}_1)^2} = 25.39 \text{kg}$$

$$s_{A_2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (A_{2(i)} - \bar{A}_2)^2} = 20.66 \text{kg}$$

$$s_{\text{TMV}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\text{TWV}_i - \overline{\text{TWV}})^2} = 34.06 \text{kg}$$

则: $u_{A_1} = \frac{s_{A_1}}{\sqrt{n}} = 8.03 \text{kg}; \quad u_{A_2} = \frac{s_{A_2}}{\sqrt{n}} = 6.53 \text{kg};$

$$u_{\text{TWV}} = \frac{s_{\text{TWV}}}{\sqrt{n}} = 10.77 \text{kg}$$

3.2.2 合成标准不确定度的评定

在不确定度的评定方法中, 测量重复性和被测衡器显示分辨力引入的标准不确定度的取其大者, 根据上述计算可得, 取 $u_{A_1} = 8.03 \text{kg}$, $u_{A_2} = 6.53 \text{kg}$, $u_{\text{TMV}} = 10.77 \text{kg}$, 则合成标准不确定度为:

$$u_{c(A_1)} = \sqrt{u_{a(A_1)}^2 + u_{r1}^2 + u_{A_1}^2} / A_{\text{修}} = 0.13 \text{kg}$$

$$u_{c(A_2)} = \sqrt{u_{a(A_2)}^2 + u_{r2}^2 + u_{A_2}^2} / A_{\text{修}} = 0.07 \text{kg}$$

$$u_{c(\text{TWV})} = \sqrt{u_{a(\text{TWV})}^2 + u_{r1}^2 + u_{\text{TWV}}^2} / \text{TWV}_{\text{ref}} = 0.06 \text{kg}$$

3.2.3 扩展标准不确定度的评定

扩展不确定度 U 由合成标准不确定度 u_c 乘以包含因子 k 得到。则:

$$U_{A_1} = k u_{c(A_1)} = 0.26 \text{kg}; \quad U_{A_2} = k u_{c(A_2)} = 0.14 \text{kg};$$

$$U_{\text{TMV}} = k u_{c(\text{TMV})} = 0.12 \text{kg}$$

3.2.4 结果评定

最大单轴或轴组载荷 30t、整车准确度等级 1 级、单轴或轴组载荷准确度等级 C 级, 分度值为 20kg, 称重速度范围 (1~10) km/h 的轴组式动态衡。其单轴或轴组载荷的测量结果的不确定度为 $U_{A_1} = 0.26\%; k=2, U_{A_2} = 0.14 \text{kg}; k=2$; 整车总重量的测量结果的不确定度 $U_{\text{TMV}} = 0.12 \text{kg}; k=2$ 。

4 总结

本文以轴组式动态衡为例, 研究了其测量示值误差的不确定度的评定方法, 并对测量结果的不确定度分量进行了分析及计算, 同时从静态、动态试验两个方面进行了不确定度评定与数据处理, 本研究为同类动态公路自动衡器的不确定度评定提供了技术参考和实践指导。

参考文献

- [1] JJG 907-2006, 动态公路车辆自动衡器[S]. 北京: 中国计量出版社, 2006.
- [2] JJF 1059.1-2012, 测量不确定度评定与表示[S]. 北京: 中国质检出版社, 2012.
- [3] GB/T 21296.3-2020, 动态公路车辆自动衡器第 3 部分: 轴重式[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [4] 吕继强. 动态汽车衡示值误差测量结果的不确定度评定[J]. 中国计量, 2015(11):92-94.
- [5] JJG 99-2006, 砝码[S]. 北京: 中国计量出版社, 2007.
- [6] 王刚, 张勇, 司延召等. 厢式检衡车在动态汽车衡检定中的应用研究[J]. 计量技术, 2019(08):61-63.

作者简介

沈新生, 男, 本科学历, 工程师, 现供职于甘肃省计量研究院, 主要研究方向: 衡器计量。