

便携式动态轴重仪校准结果的不确定度分析与评定

□甘肃省计量研究院 沈新生

【摘要】便携式动态轴重仪是一种方便移动的动态轴重衡，因其具有重量轻、体积小、移动方便等特点，通常用于交通运输执法部门对公路车辆的超载检测。文中主要介绍了便携式动态轴重仪静态试验和动态试验的不确定度评定方法，并依据JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》计量技术规范对校准结果进行不确定度分析和评定。在文章的结尾部分，对新旧规范的变化进行了分析，并阐明了自己的看法和观点。本文可为动态轴重仪的校准提供技术参考。

【关键词】便携式动态轴重仪；校准；不确定度；评定

文献标识码：B

文章编号：1003-1870（2023）12-0031-04

引言

便携式动态轴重仪是可以直接放置在特定路面使用的衡器，通过对按规定速度行驶车辆轴的称量，累计后得到整车总重量，且能自行指示（显示或打印）轴载荷和车辆总重量。轴重仪主要由相互分离的两个台面的承载器和动态称重显示控制器等组成。具有重量轻、体积小、移动方便等特点，通常仅用于对公路车辆的超载检测。为了提高其校准工作的准确度，本文以JJF1212-2008《便携式动态轴重仪》为基础，以日常检定工作中常用的计量检衡车为参考车辆，对便携式动态轴重仪的校准方法进行了介绍，并对其校准结果的不确定度进行了分析计算及评定。

1 概述

1.1 测量方法：JJF1212-2008《便携式动态轴重仪校准规范》。

1.2 环境条件：校准试验应在稳定的环境条件下进行，温度范围为-10℃~+40℃，相对湿度≤85%RH，试验期间最大温度差不大于5℃。

1.3 测量标准： M_1 等级的1t标准砝码，符合JJF1212-2008《便携式动态轴重仪校准规范》6.6.5条款中的控制衡器。

1.4 配套设备：政府有关行政部门允许使用的六轴计量检衡车。

1.5 被测对象：广东华某公司生产的型号为BX5E3W，单轴量程为（0~40）t，分度值为10kg，车辆总重量准确度等级为10级的便携式动态轴重仪。

1.6 测量方法：依据JJF1212-2008《便携式动态轴重仪校准规范》中相应条款要求，利用标准砝码对便携式动态轴重仪进行静态校准，利用控制衡器和参考车辆对便携式动态轴重仪进行动态校准。

2 静态校准的测量结果不确定度评定

2.1 测量模型

利用砝码进行动态校准:

$$E = I + 0.5d - m - \Delta m$$

式中: E ——示值误差; I ——被校轴重仪示值; d ——被校轴重仪分度值, 对于某一衡器来说, 此值为常数; m ——标准砝码质量值; Δm ——附加砝码的质量值。

2.2 标准不确定度评定

静态校准试验时, 由于便携式动态轴重仪承载面板的尺寸和现实中1t砝码的尺寸的原因, 几乎很难做到单轴40t最大秤量点的校准试验, 文中依据JJF1212-2008《便携式动态轴重仪校准规范》7.2.1.2条款中相关内容, 在试验中笔者使用专用砝码架与承载器相接触, 能最大限度地做到校准20t(50%的最大单轴秤量)秤量点, 下面的不确定度评定均按照最大20t秤量点进行。

在校准试验中, 此校准方法的不确定来源有: 标准砝码的质量值不准, 轴重仪示值的分辨力, 轴重仪的重复性, 校准方法与规定的方法和程序不一致, 人员误差, 环境对测量结果的影响等。在文中, 参考条件下环境是相对稳定的, 校准是由具有资质且合格的人员按照规范进行的, 可不考虑影响较小的因素, 只考虑测量模型中涉及的标准砝码误差和轴重仪示值分辨力的影响。

2.2.1 标准砝码引入的不确定度分量 $u(m)$

静态校准试验使用的是1t的 M_1 等级砝码, 根据砝码检定规程, M_1 等级的1t砝码最大允许误差为50g, 则20t的砝码的允差为 $50\text{g} \times 20 = 1\text{kg}$, 砝码质量允差为 mpe , 把允差分布作为均匀分布处理, $k = \sqrt{3}$, 则此不确定度分量为:

$$u(m) = mpe / \sqrt{3} = 0.58\text{kg}$$

2.2.2 轴重仪分辨力引入的不确定度分量 $u(I)$

使用20t砝码对轴重仪进行静态校准, 通常可采用“闪变点”法或内分法确定轴重仪化整前的示值误差, 采用“闪变点”法数字示值的分辨力 δ_x 为0.1d, 以分辨力的区间半宽度作为化整的最大值, 数字示

值化整的分布服从均匀分布, 则此不确定度分量为:

$$u(I) = (\delta_x / 2) / \sqrt{3} = 0.29\delta_x = 0.29\text{kg}$$

2.3 合成标准不确定度 $u_c(E)$

$$u_c(E) = \sqrt{u^2(m) + u^2(I)} = 0.65\text{kg}$$

2.4 扩展不确定度 U

$$U(E) = k \cdot u_c(E) = 1.3\text{kg}, \quad k = 2$$

3 动态校准的测量结果不确定度评定

动态校准试验中, 使参考车辆在距被测轴重仪有足够的距离处开始启动, 以规定的速度(小于等于5km/h)匀速驶向承载器, 文中使用车辆总重量约定真值为48t的六轴参考车辆对便携式动态轴重仪进行动态试验的测量不确定度评定。

3.1 测量模型

$$E_{TMV} = TMV - TMV_{ref}$$

式中: TMV_{ref} ——参考车辆约定真值

TMV ——轴重仪显示的车辆总车重

E_{TMV} ——车辆总车重误差

根据数学模型可知: $E_{TMV} = f(TMV, TMV_{ref})$

则方差传递公式:

$$u^2(E_{TMV}) = \sum \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) = u^2(TMV) + u^2(TMV_{ref})$$

3.2 标准不确定度评定

在动态校准试验中, 以下因素都可能影响便携式动态轴重仪的测量结果: (1) 控制衡器示值误差; (2) 控制衡器的分辨力; (3) 轴重仪的重复性(不稳定性); (4) 测量方法与规定的方法和程序的不一致; (5) 人员误差; (6) 环境(如地面)对测量结果的影响; (7) 运行速度的不均匀带来的示值不准; (8) 车辆带来的示值不准等。参考条件下, 环境是相对稳定的, 校准是由合格的人员按照本规范进行的, 可不考虑影响较小的因素。但应考虑控制衡器示值误差、控制衡器的分辨力和轴重仪分辨力因素, 其他因素的影响可通过对轴重仪的重复性测量进行考虑。在试验中, 以实际工作中整车静态总重量约定真值 $TMV_{ref} = 48000\text{kg}$ 的六轴铰链计量检衡车

为例。

3.2.1 控制衡器示值误差引入的不确定度分量 $u(TM V_{ref1})$

选用最大秤量Max 为100t, 分度值e 为20kg 的经检定合格的静态电子汽车衡作为控制衡器, 在动态试验前对其进行检定, 控制其在40t 秤量处的允差 mpe 为 $\pm 1.0e$, 则

$$u(TM V_{ref1}) = mpe / \sqrt{3} = 11.55 \text{ kg}$$

3.2.2 控制衡器分辨力引入的不确定度分量 $u(TM V_{ref2})$

控制衡器的分度值为20kg, 可采用“闪变法”, 其数字显示值的分辨率为 $\delta_x = 0.1 e$, 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

$$u(TM V_{ref2}) = \frac{\delta_x}{2\sqrt{3}} = 0.58 \text{ kg}$$

3.2.3 轴重仪分辨力引入的不确定度 $u(TM V_1)$

轴重仪是数字示值, 动态校准无法采用“闪变点”法或内分法确定轴重仪化整前的示值误差, 数字示值化整就必然引入不确定度, 该分量与被校轴重仪的分辨力有关。以分辨力的区间半宽作为化整的最大量, 数字示值化整分布应服从均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 则此不确定度分量为:

$$u(TM V_1) = \frac{\delta_x}{2\sqrt{3}} = 0.29d = 2.9 \text{ kg}$$

3.2.4 测量重复性引入的不确定度分量 $u(TM V_2)$

对被测轴重仪进行动态试验, 通常试验次数至少为10次, 10次动态试验的数据为: 46820kg、46540kg、46280kg、45980kg、46170kg、46020kg、46440kg、45690kg、46510kg、46390kg, 最大相对误差为-4.8%, 满足整车总重量准确度等级10级的要求。

$$\text{平均值 } \overline{TMV} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n TMV_i = 46284 \text{ kg}$$

利用贝塞尔公式, 单次测量的标准偏差:

$$s(TM V_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (TMV_i - \overline{TMV})^2}{n-1}} = 3.3 \times 102 \text{ kg}$$

$$\text{则 } u(TM V_2) = s(TM V_i) / \sqrt{n} = 104 \text{ kg}$$

3.3 合成标准不确定度的评定

由方差传递公式, 采用均方根合成法, 即:

$$u_c(E_{TMV}) = \sqrt{u^2(TM V_{ref1}) + u^2(TM V_{ref2}) + u^2(TM V_1) + u^2(TM V_2)} = 105 \text{ kg}$$

3.4 扩展不确定度U

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

$$U(E_{TMV}) = k \cdot u_c(E_{TMV}) = 210 \text{ kg}, \quad k = 2$$

4 使用自动衡器检定装置校准便携式动态轴重仪的测量不确定度评定

4.1 依据JJF1212-2008《便携式动态轴重仪校准规范》中的规定, 利用标准砝码静态校准便携式动态轴重仪的各秤量点, 其测量不确定度如表1所示。

表1 静态校准便携式动态轴重仪测量不确定度

校准点 (kg)	不确定度分量 (kg)		u_c (kg)	U (kg) $k = 2$
	$u(m)$	$u(I)$		
100	0.003	0.29	0.29	0.3
200	0.01	0.29	0.29	0.6
500	0.01	0.29	0.29	0.6
2000	0.06	0.29	0.3	0.6
20000	0.58	0.29	0.65	1.3
40000	1.15	0.29	1.2	2.4

4.2 依据JJF1212-2008《便携式动态轴重仪校准规范》中的规定，动态校准便携式动态轴重仪技术

指标改变的称量点，其测量不确定度如表2所示。

表2 动态校准便携式动态轴重仪测量不确定度

校准点 (kg)	不确定度分量 (kg)				u_c (kg)	U (kg) $k=2$
	$u(TMV_{ref1})$	$u(TMV_{ref2})$	$u(TMV_1)$	$u(TMV_2)$		
500	5.8	0.58	2.9	2.2	6.9	14
2000	5.8	0.58	2.9	3.8	7.5	15
20000	11.55	0.58	2.9	48	48	96
40000	11.55	0.58	2.9	104	105	210

5 校准和测量能力

最大单轴称量Max=40t，分度值为10kg，车辆总重量准确度等级为10级的便携式动态轴重仪的校准测量能力：

静态：测量范围（100~40000）kg， $U = (0.3\sim 2.4)$ kg；

动态：测量范围（500~40000）kg， $U = (14\sim 210)$ kg。

6 结语

本文依据JJF1212-2008《便携式动态轴重仪校准规范》，对便携式动态轴重仪从静态和动态两个方面进行了校准测量结果的不确定度分析及评定。然而，新修订JJF1212-2023《便携式动态轴重仪校准规范》即将在不久后正式实施，对比新旧规范，笔者发现主要变化有：（1）修改了计量特性部分，新版的规范只列出了车辆总质量和示值误差和单轴（轴组）载荷的示值误差（如有必要）这两个特性指标，删除了准确度等级的要求、最大允许误差要求和静态校准的要求，这是比较大的改变。（2）校准的参考车辆发生变化，旧规范中必须得有双轴刚性参考

车辆和至少其他类型的参考车辆（例如：三轴/四轴的刚性车辆、四轴的铰接挂车），而新规范中的要求是用于校准的参考车辆应是轴重仪预期称量的车辆，可以根据用户的需求确定参考车辆类型和数量。（3）附录发生变化，按照新规范的变化，对应的附录部分也发生了对应的变化。笔者认为取消了静态校准是合理的，也是符合实际工作的，便携式动态轴重仪主要用于公路的超限检测，而公路通行的车辆主要以装有货物的四轴、五轴及六轴半挂车居多，在实际执法中，大多数情况是货车多次匀速通过便携式动态轴重仪进行称重检测，此过程是一个动态过程，更多的是关注其动态特性，静态的特性很少用到，故对静态的校准实际并没有太大的现实意义。

文中是在相对稳定的环境条件下对便携式动态轴重仪校准结果进行的不确定度评定，然后在实际的校准工作中，存在外界条件引起不确定度的变化，后续的工作中要关注此方面的研究，从而完成便携式动态轴重仪测量结果的不确定度评定。

参考文献

- [1] JJF 1212-2008, 便携式动态轴重仪[S]. 北京: 中国计量出版社, 2008.
- [2] JJF1059.1-2012, 测量不确定度评定与表示[S]. 北京: 中国质检出版社, 2012.
- [3] 王国龙, 吴凯华. 便携式动态轴重仪测量不确定度评定[J]. 计量与测试技术, 2022, 49(11): 113-114.
- [4] 刘沙, 段云, 王钟瑞. 便携式动态轴重仪测量结果不确定度的评定[J]. 仪器仪表标准化与计

量, 2021(05): 46-48.

- [5] 于旭光, 王均国. 对《便携式动态轴重仪校准规范》相关问题的解析[J]. 衡器, 2012, 41(04): 24-25+31.

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。