

# 基于动态汽车衡现场检测数据的产品称量可靠性的分析探讨

□山东省计量科学研究院 马堃 潘寿虎 申东滨 宋娜

**【摘要】**动态公路车辆自动衡器是治超非现场执法的关键计量设备，治超非现场执法的动态汽车衡产品主要有石英式动态汽车衡、平板式动态汽车衡、窄条式动态汽车衡。本文通过对三种动态汽车衡产品的试验数据的分析，引入示值平均值相对误差和示值误差的扩展不确定度的方法，尝试分析这三种动态汽车衡产品可靠性，找到影响产品称量可靠性的关键因素，为改进动态汽车衡产品性能提供参考。

**【关键词】**动态汽车衡；现场试验；可靠性

## 引言

动态公路车辆自动衡器（以下简称“动态汽车衡”）是治超非现场执法工作的关键计量设备，可有效解决治超监测中的腹地“空心化”问题，能够实现全天候监管，为跨区域、跨部门联合联动执法提供有力支撑，可缓解流动执法的压力。

用于治超非现场执法的动态汽车衡产品主要包括石英式动态汽车衡、平板式动态汽车衡、窄条式动态汽车衡三种类型。本文从现场检测数据出发，分析在相同的环境条件下三种动态汽车衡在不同速度下的重量数值，并通过计算示值平均值相对误差和示值误差的扩展不确定度的方法，分析上述三种动态汽车衡产品的称量可靠性。

## 1 现场动态试验要求

### 1.1 动态汽车衡试验样机的选择

动态汽车衡试验样机要确保选择状态正常、运行良好、计量技术机构检定合格的产品。所选3台试验样机相关信息如下：

a) 石英式动态汽车衡，车辆总重量准确度等级

5级，最大称量40t，分度值50kg，运行速度范围为1km/h~100km/h，承载器数量为6；

b) 窄条式动态汽车衡，车辆总重量准确度等级5级，最大称量40t，分度值50kg，运行速度范围为1km/h~100km/h，承载器数量为6；

c) 平板式动态汽车衡，车辆总重量准确度等级5级，最大称量40t，分度值50kg，运行速度范围为1km/h~100km/h。

### 1.2 动态试验方法

根据JJG907-2006《动态公路车辆自动衡器》国家计量检定规程要求，参考车辆在规定的速度范围内各进行10次动态测试。

### 1.3 动态汽车衡相对误差

为减少动态汽车衡称量示值随机误差的影响，选取动态汽车衡示值平均值的相对误差。采用公式

(1) 计算示值平均值相对误差：

$$E = (\bar{I} - m) / m \times 100\% \quad (1)$$

式中： $\bar{I}$ —动态汽车衡示值的平均值，t或kg；

$m$ —参考车辆的重量的约定真值，t或kg；

$E$ —动态汽车衡示值平均值的相对误差。

### 1.4 动态汽车衡示值误差的扩展不确定度

测量结果不确定度是评价测量过程可靠性的重要指标，不确定度愈小，测量数据的可靠性愈高。从影响测量结果的因素考虑，测量结果的不确定度一般来源于被测对象、测量设备、测量环境、测量人员和测量方法。为减少各种环境因素（现场温湿度、电磁干扰、电源波动）和路面条件对结果分析的影响，选取的三台动态汽车衡安装位置的环境条件基本一致，路面平整度均符合国家标准的要求，同一位驾驶员完成全部试验过程，过车速度保持匀

速。

此次试验的不确定度典型来源主要包括动态汽车衡示值重复性引入的标准不确定度分量、动态汽车衡分辨力引入的不确定度分量、参考车辆的约定真值引入的不确定度分量。

#### 1.4.1 动态汽车衡引入的不确定度分量 $u(I)$

动态汽车衡引入的不确定度分量主要由重复性引入的不确定度分量 $u_1(I)$ 和分辨力引入的不确定度分量 $u_2(I)$ 组成。

参考车辆总质量的测量进行10次，取10次动态称量示值的平均值作为测量值，该不确定度分量的计算方法采用贝塞尔公式。此不确定度分量为测量平均值的标准偏差：

$$u_1(I) = s(I) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (I_j - I)^2}{n-1}} / \sqrt{n}$$

式中， $j$ 为测量次数的序号， $n$ 为称量次数， $n=10$

动态汽车衡是数字示值显示，读数时分辨力引入的不确定度，服从均匀分布，以分辨力的1/2作为区间半宽， $k = \sqrt{3}$ ，则此不确定度分量为：

$$u_2(I) = \frac{d}{2\sqrt{3}}$$

式中： $d$ 为动态汽车衡的分度值， $d=50\text{kg}$ 。

由 $u_1(I)$ 和 $u_2(I)$ 两个分量彼此独立，互不相关，根据不确定度传播定律得到：

$$u(I) = \sqrt{u_1^2(I) + u_2^2(I)}$$

#### 1.4.2 参考车辆的重量的约定真值引入的不确定度分量 $u(m)$

参考车辆的重量的约定真值引入的不确定度分量主要为控制衡器示值误差引入的不确定度分量 $u(m)$ ，控制衡器为最大称量100t，分度值20kg的中准确度等级的电子汽车衡，控制衡器称量得到的参考

车辆的参考质量 $m$ ，因为不是在测量前立即检定的，控制衡器在接近48t称量点的最大允差为 $\pm 1.5d_c$ ，服从均匀分布， $k = \sqrt{3}$ ，则此不确定度分量为：

$$u(m) = \frac{1.5d_c}{\sqrt{3}}$$

式中： $d_c$ 为控制衡器分度值， $d_c=20\text{kg}$ 。

#### 1.4.3 合成标准不确定度的评定

采用均方根合成法，计算得到示值平均值相对误差 $E$ 的合成标准不确定度：

$$u_c(E) = \frac{\sqrt{|c_1|^2 u^2(m) + |c_2|^2 u^2(I)}}{m}$$

式中，标准不确定度分量的灵敏系数绝对值 $c_1$ 和 $c_2$ 均为1。

#### 1.4.4 扩展不确定度的评定

动态汽车衡示值平均值相对误差的扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c(E), k=2$$

## 2 产品的可靠性分析

窄条式动态汽车衡、石英式动态汽车衡、平板式动态汽车衡主要用来判断道路上行驶的车辆是否超重。为使参与比较的数值更为直观，试验中均选择承载能力较强的6轴铰接挂车为参考车辆，车重信息详见下表1。

### 2.1 动态汽车衡产品的数据采集

按照2.1选择试验样机，对各个动态汽车衡产品标定后，按2.2试验方法要求，每台产品分别进行10次动态称量试验。为了更好地避免偏载对试验测量结果的不利影响，本次试验所有测试数据均由动态汽车衡产品承载器的中心通过。其中，低速通过的速度范围为5km/h~10km/h，中速通过的速度范围为40m/h~50 km/h，高速通过的速度范围为90km/h~100km/h。采集数据如表1所示。

表1 动态汽车衡产品车重数据（单位：kg）

产品名称	石英式动态汽车衡			窄条式动态汽车衡			平板式动态汽车衡		
	低速	中速	高速	低速	中速	高速	低速	中速	高速
约定真值	48140			48200			48080		
速度	低速	中速	高速	低速	中速	高速	低速	中速	高速
示值1	48050	47950	48000	48550	48450	48450	47750	47900	48850
示值2	47850	48500	47850	47850	47900	47650	48050	47850	47450
示值3	48500	48200	48550	48250	48700	48350	48100	48200	47400

示值4	47650	47600	48050	47950	48350	47800	48250	47400	48650
示值5	47500	47950	47950	48050	47600	47500	48050	47650	48300
示值6	47750	48350	47550	48500	48650	47900	48350	48350	48500
示值7	48650	47850	48750	47900	47750	48650	48100	47750	48750
示值8	48450	48400	48400	47800	47600	48650	48000	48400	47550
示值9	47850	48250	47600	48250	48250	48350	48450	47950	48650
示值10	47800	47600	47450	48300	48050	47550	47900	48650	48400

## 2.2 动态汽车衡的数据换算

通过2.3及2.4等相关公式，将表1中车辆重量数

值换算为示值平均值的相对误差及示值误差的扩展不确定度等的数值表现形式，如下表2所示。

表2 换算后的动态汽车衡相关数值

产品名称	石英式动态汽车衡			窄条式动态汽车衡			平板式动态汽车衡		
约定真值/kg	48140			48200			48080		
MPE/kg	± 1200			± 1200			± 1200		
速度范围	低速	中速	高速	低速	中速	高速	低速	中速	高速
平均值/kg	48005	48065	48015	48140	48130	48085	48100	48010	48250
最大误差/kg	-640	-540	-690	-400	-600	-700	370	-680	770
平均值的相对误差	-0.28%	-0.16%	-0.26%	-0.12%	-0.15%	-0.24%	0.04%	-0.15%	0.35%
示值误差的扩展不确定度 (k=2)	0.53%	0.44%	0.58%	0.37%	0.55%	0.60%	0.29%	0.52%	0.75%

## 2.3 动态汽车衡称量数据的可靠性分析

结合表1和表2数据可知：

### 2.3.1 结合最大误差和最大允许误差MPE分析

根据JJG907《动态公路车辆自动衡器》，最大允许误差MPE应取以下两组数据中较大的数值：将车辆总重量约定真值的±2.50%修约至最接近分度值倍数；1个分度值乘以车辆总重量中轴称量的次数。经计算石英式、窄条式、平板式动态汽车衡的最大允许误差MPE均为±1200kg。在表2“最大误差”一行中，每个最大误差数值的绝对值均小于对应的MPE，即最大误差均小于最大允许误差，由此可得出，本次试验所采集的重量数据均满足产品本身级别（5级）使用要求。

### 2.3.2 结合最大误差和平均值的相对示值误差分析

从误差分析角度看，衡器称量示值的“最大误差”实际上就是“随机误差”，而“平均值相对误差”其实就是“系统误差”，系统误差比较容易修正，而随机误差主要由设备本身的设计结构特性决定。

该台石英式动态汽车衡各个速度最大误差的数据相差较小；高速和低速行驶时平均值的相对示值误

差较大，中间速度次之。

该台窄条式动态汽车衡各个速度最大误差的数据，随速度增大而增加；高速行驶时平均值的相对示值误差最大，中间速度和低速次之。

该台平板式动态汽车衡各个速度最大误差的数据，随速度增大而增加；高速行驶时平均值的相对示值误差最大，中间速度和低速次之。

### 2.3.3 结合示值误差的扩展不确定度从产品不同速度范围分析

该台石英式动态汽车衡在中间速度数据可靠性最高，其次低速，再次高速。

该台窄条式动态汽车衡在低速数据可靠性最高，速度越快，数据可靠性越低。

该台平板式动态汽车衡在低速数据可靠性最高，速度越快，数据可靠性越低。

## 3 原因简析

3.1 在其他条件不变的情况下，影响载荷数值的电荷信号的释放时间小于应变片电阻差分信号的传输时间，同一车辆的车速越快，则这个时间差数值越大，从而使得石英式动态汽车衡在中、高速行驶比低速行驶时数据相对可靠。

3.2 在低速度行驶时，石英式动态汽车衡需要

添加标准电阻和增加大量的补偿算法，从同一台产品不同速度段分析，车辆行驶越慢，重量数据的可靠性相对越差。

3.3 数据最大误差、数据偏离程度，与动态汽车衡重量系数的标定参数密切相关。受安装条件和产品结构的制约，速度过快会导致传感器受力不充分，数据失真，导致动态汽车衡的行车速度越快，数据可靠性相对越差。

#### 4 小结

4.1 受篇幅所限，本文省略数据换算的详细计算过程，结合三台动态汽车衡产品的现场试验数据，通过引入相对误差和示值误差不确定度的方式，比较了三台动态汽车衡的数据可靠性，并简要分析了影响数据可靠性的相关因素，以期为企业改进产品性能、为非现治超工作合理使用动态汽车衡产品提供参考。

4.2 本文只是提出了一种分析动态汽车衡称量可靠性的方法，受检测条件限制，未能开展大规模的产品测试和数据分析，本文所给出的分析示例不

能作为三种产品的可靠性能结论判定。影响数据可靠性的原因是多方面的，比如动态汽车衡传感器的质量方面、车辆行驶加速度情况、路况复杂程度、动态汽车衡重量系数的标定参数以及所选动态汽车衡本身产品的性能等。

#### 参考文献：

[1] 王均国等，JJG907-2006《动态公路车辆自动衡器》[S]，中国计量出版社，2006.

[2] 王书升等，《加速度对动态汽车衡称重结果的影响研究》[M]，计量与测试技术，2019.

[3] 李慎安，《扩展不确定度的概念与类别》[J]，工业计量，2005,15(5):35-36.

[4] OIML R134 国际建议《动态公路车辆自动衡器》[S]，国际法制计量组织，2004.

**作者简介：**马堃（1976~），男，汉族，山东，研究员，大学本科，从事衡器计量专业多年。