

动态汽车衡计量特性远程核查的测量不确定度分析

□浙江省计量科学研究院 陈洁 尚贤平 赵志灏 毛晓辉 裘尧华 闵玥
宁波市计量测试研究院 秦树伟

【摘要】当前公路车辆自动衡器（以下简称：动态汽车衡）周期检定频次已逐渐不能满足当前非现场执法工作需要，需要信息化手段实行差异化精准检测，以保证计重数据的可信度。本文根据计量性能远程核查方法建立了测量不确定度评定模型，并分析各不确定度来源，重点分析了非正常行驶、速度、油耗等对动态称重测量不确定度带来的影响，从技术层面为动态称重数据的可靠性提供分析依据，为公路动态称重设备的准确使用提供技术支持。

【关键词】动态汽车衡；远程核查；不确定度评定；动态称量

引言

公路超限超载运输破坏路桥结构，易造成交通事故，威胁人民生命财产安全。自2013年以来，全国各地相继开展了公路治超非现场执法工作，严厉打击严重违法超限运输行为，确保道路交通安全。动态汽车衡是公路治超非现场执法系统的关键计重设备，其量值准确、可靠是实施科技治超的前提。但是由于动态汽车衡是对运动中的载货汽车进行计量这一特点，其计量准确性与司机驾驶习惯、车辆运行速度、结构型式等有很大的关联。据不完全统计，某一样本区域路段安装的动态汽车衡在一个运行周期后（通常为6个月），其动态汽车衡平均检定合格率大约维持在65%左右^[1]。相当一部分动态汽车衡在运行一段时间后，其计量准确度已不能维持在检定时水平。实际上，此类动态汽车衡已经认为是失准了，给出的车辆总重的结果存在很大的

不确定性，给公路超限执法带来了风险。为解决检定周期内动态汽车衡计量失准问题，同时兼顾检测成本，项目研究提出基于物联网技术对动态汽车衡进行远程核查的方式，对非现场执法点动态汽车衡在检定周期内实行差异化精准检测，以提高动态衡动态称重数据的可信度^[2]。

1 远程核查工作机理

远程核查是应用物联网技术，通过远程核查方法对非现场执法点动态汽车衡的动态计量性能做出符合性的研判，与日常周期检定相比，其远程核查方法与传统的检定方法有较大的差异，远程核查是通过经约定的参考车以常规的运行速度通过被核查的动态汽车衡，动态汽车衡将相关称重结果、运行速度、图片数据通过物联网上传至核查系统，经核查系统计算，确定被核查的动态汽车衡动态计量误差是否保持在相应的控制限内，该控制限按照动态汽车衡使用中检查的误差要求进行设定（通常为检定时误差的2倍进行考虑），当核查的动态汽车衡其动态计量误差接近或超出相应的控制限，核查系统会给出相应的警示信息，及时提醒动态汽车衡使用单位进行分析处理，提高动态汽车衡称重性能运行的可靠性。

2 远程核查的数学模型

动态汽车衡的远程核查实际上就是通过物联网上传的测量结果与核查标准参考车总重进行比较的过程。为了提高远程核查的可信度，其核查过程中动态称重数据测量结果的不确定度也应是必须考虑的内容^[3]。本文着重针对非现场执法点动态汽车衡的实际工况（如速度、异常行驶等），提出一种不确定

度评估方法。

治超非现场执法系统的动态汽车衡一般安装在普通公路路面，称量速度范围一般为（0.5 ~ 100）km/h，称重结构主要有轴重式、石英式、平板式、窄条式、弯板式等形式，车辆总重量准确度等级主要为5级与10级^[4]。远程核查按照核查方案，采用核查参考车辆对动态汽车衡进行一次或多次测试，测试结果上传核查系统，然后按照公式1计算核查结果，按照设定的控制限来评价动态汽车衡是否处于正常状态。核查车辆（参考车辆）可以选用社会公用计量标准，如各法定计量机构的检衡车，或选用特定的社会车辆，如经控制衡器进行整车称重的路政施救车等。有别于动态汽车衡的周期检定，远程核查参考车辆可以根据实际道路运行情况，选择可以双轴刚性车、三轴/四轴刚性车、四轴或四轴以上的铰接车等其中的一辆或几辆^[5]作为核查参考车。

核查时，参考车辆以常规的运行速度通过被核查的动态汽车衡，远程核查系统将采集的称重数据、运行速度数据、抓拍的图片数据等上传到核查

系统平台进行计算处理。

$$\delta = \frac{TMV - TMV_{ref}}{TMV_{ref}} \quad (1)$$

式中： δ ——被核查动态汽车衡车辆相对动态误差测量值；

TMV_{ref} ——核查参考车辆总重量；

TMV ——动态衡显示的核查参考车辆总重量；

1) 当 $|\delta| > 2MPEV$ 时，说明被核查动态汽车衡动态性能已经超出控制限的要求，其动态测量误差已不能满足使用要求，应给出警示信息，暂停使用，待修复完成再次检定合格后使用；

2) 当 $MPEV < |\delta| \leq 2MPEV$ 时，说明被核查动态汽车衡动态性能已经有变化，虽未超出控制限的要求，但动态测量误差已有趋势超出控制限的要求，给出信息，提高核查频次；

3) $|\delta| \leq MPEV$ 时，说明被核查动态汽车衡动态性能正常，按正常设备进行管理。

动态称重时车辆总重的最大允许误差绝对值（MPEV）如表1所示。

表1 车辆总重的最大允许误差绝对值MPEV

准确度等级	车辆总重的最大允许误差绝对值MPEV
5	2.5%
10	5.0%

3 不确定度来源分析与计算

根据动态汽车衡远程核查系统和非现场执法动态称重特点分析，远程动态称重误差测量不确定度来源主要由两部分组成：第一部分为动态汽车衡动态性能核查过程中引入的不确定度分量，主要包含测量重复性、动态汽车衡分辨率、核查车辆运行速度变化、非正常行驶、核查车辆远程核查中的油耗损失等因素引入的不确定度分量；第二部分是核查车辆总重通过控制衡器测量时引入的不确定度分量。

本核查方法以安装在某非现场执法点的动态汽车衡DCS-30B为例（轴载荷最大秤量30t，动态分度值为50kg，准确度等级5级，执法点道路限速60km/h），根据该路段道路车辆运行较多的实际状况，分别使用三轴刚性车（简称：三轴）、六轴铰接车（简称：六轴）作为核查车辆，并经控制衡器确定车辆总

重分别为26.5t（三轴）和42.8t（六轴），通过核查车辆对上述动态汽车衡进行远程核查，并对核查结果给出测量不确定度分析与计算。

3.1 输入量TMV引入的标准不确定度分量 $u(TMV)$

输入量TMV的标准不确定度来源 $u(TMV)$ 主要是动态汽车衡测量重复性、分辨率、核查车辆油耗损失、车速运行变化以及非正常行驶等引入的不确定度分量。

3.1.1 核查重复性的不确定度 u_1

核查重复性不确定度用A类评定进行分析。核查车辆以该路段该车型典型车速40km/h的车速匀速（近似匀速）通过核查点，共核查10次，数据如表2所示。运用贝塞尔公式计算核查重复性不确定度，见公式（2）-（4）。

$$\bar{TMV} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n TMV_i \quad (2)$$

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(TMV_i - \bar{TMV})^2}{n-1}} \quad (3)$$

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{m}} \quad (4)$$

表2 核查重复性的不确定度 u_1 (单位: kg)

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TMV_{ref}	\bar{TMV}	s	u_1
三轴	26650	26650	26500	26600	26650	26600	26650	26650	26500	26650	26500	26610	61.5	61.5
六轴	42950	42800	42900	42900	42900	42850	42900	42950	42950	42850	42800	42895	49.7	49.7

注: m 为实际核查次数, 案例中核查1次, 故 $m=1$ 。

3.1.2 核查衡器示值分辨率引起的不确定度 u_2

由于动态汽车衡的分度值 $d = 50\text{kg}$, 则由动态汽车衡分度值导致的不确定度分量为:

$$u_2 = 0.29d = 14.5\text{kg}$$

3.1.3 车辆油耗引来的不确定度 u_3

经数次测试核查参考车实际油耗和厂家提供的具体理论油耗: 如双轴车为22 千克/ 百公里、三轴车为29 千克/ 百公里、四轴车为35 千克/ 百公里、六轴车为40 千克/ 百公里; 实际核查一次为运行以100 公里计算。假设油耗带来的影响服从均匀分布, 则:

$$\text{三轴: } u_3 = \frac{29\text{kg}}{\sqrt{3}} = 16.7\text{kg}$$

$$\text{六轴: } u_3 = \frac{40\text{kg}}{\sqrt{3}} = 23.1\text{kg}$$

3.1.4 车速变化引来的不确定度 u_4

JJG907-2006《动态公路车辆自动衡器检定规程》中没有提出检测中具体的速度范围, 所以非现场执法点动态汽车衡的限速取道路限速和动态汽车衡限速最小值。在限速下, 采用间隔为5km/h 的不同车速对考核点动态衡进行称量统计分析^[9], 该核查点动态

汽车衡在最大速度与最低速度运行区间内, 其动态称重误差变化不大于0.47%, 假设半宽为0.47%/2, 并服从均匀分布:

$$\text{三轴: } u_4 = \frac{26500\text{kg} \times 0.47\%}{2\sqrt{3}} = 36.0\text{kg}$$

$$\text{六轴: } u_4 = \frac{42800\text{kg} \times 0.47\%}{2\sqrt{3}} = 58.1\text{kg}$$

3.1.5 非正常行驶引入的不确定度分析 u_5

正常情况下, 货车只有以规定速度平稳均匀通过称重区域时才能得到较为准确的称量结果。但是, 实际过程中, 相当一部分货车都会采取非正常行驶的方式通过称重区域, 如跨道行驶, 点刹车、断速、变速, 压分道线行驶等。从实验数据来看, 部分非正常行驶结果可以达到5 级的要求^[8]。通过非现场执法点数据统计, 正常行驶车辆的概率约为95%, 假设正常行驶的车辆成正态分布, 查正态分布情况下概率 p 与置信因子 k 间的关系表得^[10]: $k=1.96$; 同时根据统计期间, 核查车辆示值平均值相对误差在-0.35% 和+0.47% 之间变化^[11], 取半宽为示值平均值相对误差区间的一半, 则 u_5 :

$$\text{三轴: } u_5 = \frac{(a_+ - a_-) \times TMV_{ref}}{2k} = \frac{(0.47\% + 0.35\%) \times 26500\text{kg}}{2 \times 1.96} = 55.7\text{kg}$$

$$\text{六轴: } u_5 = \frac{(a_+ - a_-) \times TMV_{ref}}{2k} = \frac{(0.47\% + 0.35\%) \times 42800\text{kg}}{2 \times 1.96} = 89.5\text{kg}$$

3.1.6 输入量TMV引入的标准不确定度分量 u (TMV)合成

输入量TMV引入的标准不确定度分量 u (TMV)由以上五个分量得到, 核查重复性和核查衡器分辨率、油耗, 速度变化以及非正常行驶不相关, 因此,

$$\text{三轴: } u(TMV) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} = 93.1\text{kg}$$

$$\text{六轴: } u(TMV) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} = 120.8\text{kg}$$

3.2 输入量 TMV_{ref} 引入的标准不确定度分量 u (TMV_{ref})

核查车辆的质量由控制衡器(如SCS-150电子汽车衡)称量确定, 其最大允许误差为SCS-150在该称量点下的最大允许误差。SCS-150电子汽车衡, 最大称量 $Max=150\text{t}$, $e=50\text{kg}$, 三轴车(26.65t)和六轴车(42.8t)所在载荷点的最大允许误差为 $\pm 50\text{kg}$, 采用B类评定方法, 引入的不确定度分量按均匀分布, 则有:

$$u(TMV_{ref}) = \frac{50}{\sqrt{3}} = 28.9\text{kg}$$

3.3 被核查动态汽车衡的合成标准不确定度评定

输入量TMV、 TMV_{ref} 彼此独立不相关, 所以合成标准不确定度为:

$$\text{三轴: } u = \sqrt{u^2(TMV) + u^2(TMV_{ref})} = \sqrt{93.1^2 + 28.9^2} = 97.5\text{kg}$$

$$\text{六轴: } u = \sqrt{u^2(TMV) + u^2(TMV_{ref})} = \sqrt{120.8^2 + 28.9^2} = 124.2\text{kg}$$

3.4 被核查动态汽车衡的扩展不确定度评定

取 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$\text{三轴: } U = ku = 2 \times 97.5\text{kg} = 195.0\text{kg}(k=2)$$

$$\text{六轴: } U = ku = 2 \times 124.2\text{kg} = 248.4\text{kg}(k=2)$$

则相对扩展不确定度为:

$$\text{三轴: } U(\delta) = \frac{195.0}{26500} \times 100\% = 0.74\%(k=2) < \frac{1}{3} MPEV$$

$$\text{六轴: } U(\delta) = \frac{248.4}{42800} \times 100\% = 0.58\%(k=2) < \frac{1}{3} MPEV$$

因此, 案例中动态汽车衡远程核查动态误差测量结果的不确定度评定能满足要求。

4 结论

通过此次动态汽车衡远程核查不确定度影响分析发现, 除测量重复性外, 车辆运行速度变化、非

正常行驶对非现场动态汽车衡的计量性能影响较大, 在公路治超执法中易引起较大的争议。因此如何管控和约束载货车辆有效通过动态汽车衡, 发挥动态衡动态称重结果的作用, 是非常关键的, 为了减少非正常行驶对动态衡称重结果的影响, 做好车

道硬隔离、非正常行驶现象抓拍识别措施,以进一步完善非现场执法系统是必须的。同时通常远程核查系统的建立和有限实施,可以更加精准地识别在用动态汽车衡计量性能的状况,及时发现动态汽车衡运行中存在的风险和隐患,有效提高称重数据的可靠性、准确性,为公路非现场执法提供良好的技术支撑。本项目研究得到了浙江省市场监管系统科技项目(项目编号:20200306)的支持,为项目的顺利研究提供了经费保障,在此表示感谢!

参考文献:

- [1] 尚贤平等.《动态公路车辆自动衡器检定周期动态性能的差异性研究》[J],衡器,2020,
- [2] 陈洁等.《动态公路车辆自动衡器期间核查方案设计研究》[J],衡器,2019.
- [3] BIPM,IEC,IFCC,ILCC,ISO,IUPAC,IUPAP and OIML.JCGM 106:2012 Evaluation of measurement data—The role of measurement uncertainty in conformity assessment[S].2012.
- [4] 秦树伟等.《动态称重系统在超载超限非现场

执法中的应用研究》[J],衡器,2019.

- [5] 李波.《计量衡器标准期间核查实施的方法研究》[J].消费导刊,2018.
- [6] JJG 907-2006,《动态公路车辆自动衡器检定规程》[S].北京:中国计量出版社,2006.
- [7] 彭美春等.《营运货车道路运行油耗及碳排放因子研究》[J].2015.
- [8] 罗检民等.《动态公路车辆自动衡器非正常行驶的检测方法探析》[J].中国检验检测,2021.
- [9] 丁跃清等.《动态矿用轻轨衡动态称量结果的测量不确定度评定》[J].计量与测量技术,2012.
- [10] JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》[S].北京:中国计量出版社,2012.
- [11] 陈洁等.《固定地点计量比对中传递标准稳定性评估研究—以大型衡器计量比对为例》[J],衡器,2021.

作者简介: 陈洁,1986年生,女,硕士研究生,高级工程师,主要研究方向:衡器计量与检测技术。