

传感器波形在动态汽车衡状态检验中的应用研究

刘会喜 陈忠元 姚飞

(北京万集科技股份有限公司, 北京 100085)

【摘要】称重传感器是动态公路车辆自动衡器的基本力电转换单元, 通过对其波形特征的提取和分析能够有效的对衡器的机械结构、称量精度、称量适应性等方面的情况进行评估, 进而可应用在衡器状态检验和计量检定防作弊的方案中, 以提升动态汽车衡使用过程中的稳定性和可信程度。

【关键词】动态公路车辆自动衡器 传感器波形 衡器检验

引言

随着国内经济的发展, 公路运输行业日趋繁荣。而动态公路车辆自动衡器作为经济贸易的重要衡量结算工具, 人们对它的准确度要求越来越高; 另一方面, 公路超限超载货车越来越多, 而动态公路车辆自动衡器作为重要的治理工具, 人们对其的稳定性要求越来越高。

为保证动态公路车辆自动衡器在经济贸易结算中的高精度和高稳定性, 在超限超载治理中的高准确度和高可信度, 计量检定部门会定期对此类设备进行计量检定, 以评估设备的工作状态和输出结果。然而, 当前的检定过程较繁琐, 检定成本高, 检定程序无法涵盖所有的工作环境。

动态公路车辆自动衡器所使用的传感器与衡器的其他部件紧密连接, 且传感器是力学敏感元件, 衡器状态的改变会直接反应在传感器的输出上。本文对传感器的输出波形数据进行了研究, 对将传感器波形数据用于动态汽车衡状态检验的可行性方法和计量检定中防作弊方案进行了探讨。

一、动态公路车辆自动衡器及应用领域

动态公路车辆自动衡器是包括承载器和引道组成的自动衡器, 通过轴(或轴组)称量方式或整车称量方式, 确定行驶中车辆单轴载荷(或轴组载荷)和总重量的衡器。并自行指示车辆单轴载荷(或轴组载荷)和总重量^[1]。

动态公路车辆自动衡器主要应用于执法取证和贸易结算中, 有以下几个主要应用领域: 计重收费, 主要应用在收费高速公路的出口处, 针对不同类型货车进行称重, 根据货车的车型和装载重量收取通行费用。显然, 衡器的称量精度越高, 称量稳定度越高越有利于避免不必要的计量纠纷。

入口超限超载治理, 2019年随着相关国家政策的改变, 高速公路不允许超限超载货车进入。全国所有高速公路入口已经基本覆盖安装至少一条车道的动态汽车衡设备, 以便判断通行货车是否超限, 是否被允许进入高速公路。动态汽车衡的称量结果成为判断货车能否进入高速公路的依据, 因此衡器准确性和稳定性尤为重要。

公路超限超载非现场执法,违法超限超载不仅严重破坏公路和桥梁设施,容易引发道路交通事故,危害人民群众的生命财产安全,而且严重扰乱运输市场秩序。目前公路的超限超载治理存在执法力量相对不足和执法效率不高的问题。公路超载超限非现场执法是一种在不影响车辆正常行驶的情况下,快速识别车辆信息、精确进行车辆称重、准确匹配执法证据的信息化系统,其优点是投入执法力量少,执法效率高。作为一种新兴的货车超限超载治理理念和治理手段,系统的称量精度和称量稳定性,将直接决定执法过程的有效性。

由此,在上文所述的各种应用场景中,动态公路车辆自动衡器的称量精度和称量稳定性是最为重要的两个指标。

二、动态汽车衡的主要指标和检定规程

根据国标《动态公路车辆自动衡器》,与动态汽车衡精度相关的指标有:准确度等级、最大允许误差、鉴别力、分度值和分度数等;与动态汽车衡稳定性相关的指标有:温湿度的适应范围、抗干扰性能、量程稳定性、耐久性、偏载情况下的误差等^[1]。

根据《动态公路车辆自动衡器检定规程》,现行的检定项目主要有静态试验和动态试验^[3]。

静态试验项目主要评估衡器在不同重量、不同加载位置下的称重精度和适应性。其试验环境单一,并没有充分考虑温度、湿度、路基变化、结构疲劳等情况对衡器的影响。

动态试验项目主要评估不同车型的车辆在装载不同重量、碾压多个位置、以多个车速通过衡器情况下衡器的称重精度。动态试验时选用的参考车型有限、试验次数有限、过秤车速不全,并不能全面评估衡器的环境适应性和衡器的稳定性。

另外,由于检定过程中只采用有限的车型、典型速度、有限装载重量对公路汽车衡进行计量检定,在被检定仪表的算法上可对这些测试样本进行特殊修正,以提高衡器对这些测试样本的准确度。但是,修正后的算法会致使汽车自动衡器对非参考车型、非参考速度以及其他载重的车辆测量的误差变大。

相比于《动态公路车辆自动衡器检定规程》,欧盟 cost323 计划的报告《Weight in Motion of Road Vehicles Final Report》中引入了“置信水平”的概念用于评估测试的置信度^[4],更加科学可靠。但是,现实情况下并不能对公路汽车衡进行全面充分的试验评估。因为大多数公路汽车衡一般安装在交通要道上,增加计量检定的试验项目范围和次数势必会增加检定成本和时间,也会给交通造成一定的拥堵。

三、传感器波形在衡器状态检验中的应用

3.1 传感器的波形

称重传感器是考虑了使用地的重力加速度与空气浮力影响后,通过把被测量(质量)转换成另一种被测量(输出)来测量质量的力传感器^[2]。动态公路车辆自动衡器采用的传感器主要分为压电

式和电阻应变式两类。压电式的传感器只有在受到冲击力时才会产生电信号，衡器空载时无信号输出。而电阻应变式传感器是通过电阻应变片测量弹性体应变大小进而得到所受作用力大小的，测量精度高，技术成熟，稳定性好。目前绝大部分的动态公路车辆自动衡器都采用电阻应变式的传感器作为测力单元。

根据衡器的承载器与电阻应变式传感器的结合方式不同，衡器结构可分为简支结构和固支结构。不同结构的衡器所产生的波形数据也有所不同。

在简支结构的动态汽车衡中，承载器由 4 只电阻应变式传感器支撑，为保证承载器的稳定性，4 只传感器与承载器之间无缝隙，正常状态下传感器输出的波形稳定，信噪比高，能够实时反应衡器的状态。如下图 3-1 所示。

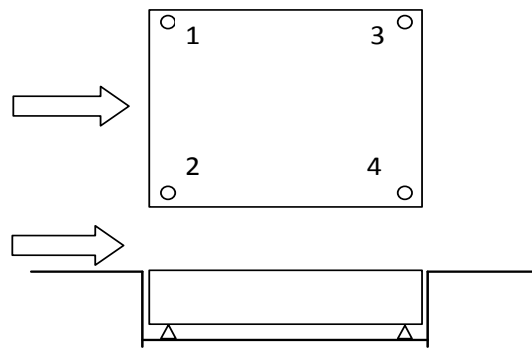


图 3-1

固支结构的动态汽车衡一般应用于高速测量。衡器的承载器与传感器固定连接，或者承载器与传感器为一体结构。这种固支结构的衡器在车辆高速时能够保证承载器与传感器紧密连接，消除承载器振动对传感器的冲击。常见的固支衡器有窄条、弯板、平板秤等。固支结构衡器如下图 3-2 所示，承载器与传感器固定连接。由于承载器与传感器固定连接，传感器不仅可以测量承载器对其的压力，而且可以测量承载器对其的拉力、扭力等。因此，传感器波形数据能够有效的反应衡器的受力状态。

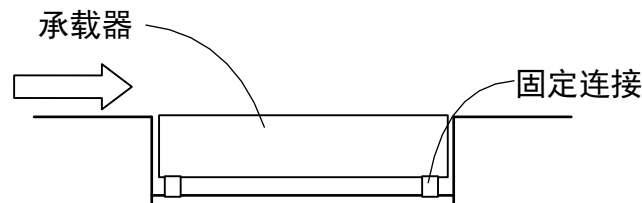


图 3-2

综上所述，电阻应变式传感器输出的波形数据可以实时反应衡器的状态，也可以用于汽车自动衡器计量检定的参考数据。

3.2 传感器过车波形在衡器状态检验中的应用

在计量检定的动态试验检定时，在所选车型通过自动衡器的过程中，采集车辆通过衡器的传感

器波形。

如下图 3-3 所示，以单承载器的衡器为例，其由 4 只传感器支撑，当轴或轴组通过时，采集 4 只传感器的波形数据。

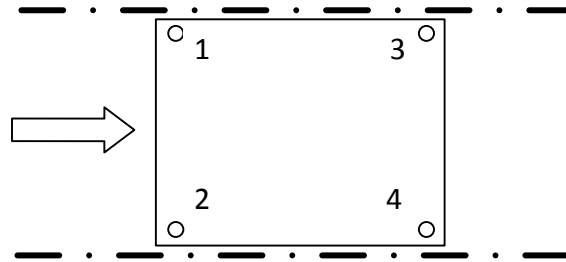


图 3-3

波形采集完成后，将承载器前端的两只传感器（传感器 1、传感器 2）的质量数据加和得到 S_1 ，将承载器后端的两只传感器（传感器 3、传感器 4）质量数据加和得到 S_2 ，作出 S_1 和 S_2 的变化图（如图 3-4 所示）。提取自动衡器的波形特征点： S_1 取到最大值 $S_{1\max}$ ， S_2 取到最大值 $S_{2\max}$ ，并通过以下公式比较以上两个值的差异 δ ：

$$\delta = |(S_{1\max} - S_{2\max}) / (\text{mean}(S_1 + S_2))| \quad (3-1)$$

其中， $S_i = (x_i - \mu) \cdot k$ ，即传感器示数减去当前零点值； $\text{mean}(S_1 + S_2)$ 为 S_1 和 S_2 在该时间段内的求和平均值。

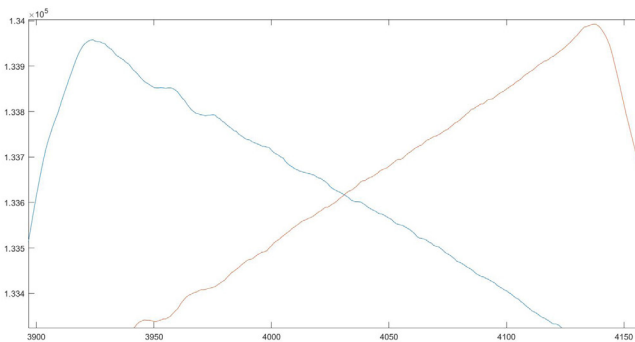


图 3-4

其中， δ 值代表上秤端传感器示数加和的最大值与下秤端传感器示数加和最大值之差，除以所有传感器示数加和的值。若 δ 值较大，则认为上秤端传感器和下秤端传感器不对称。 δ 值应满足以下不等式：

$$\delta \leq k \quad (3-2)$$

当 δ 值不满足式 3-2 时，则认为秤台的平衡状态已经改变，如下图 3-5 所示。

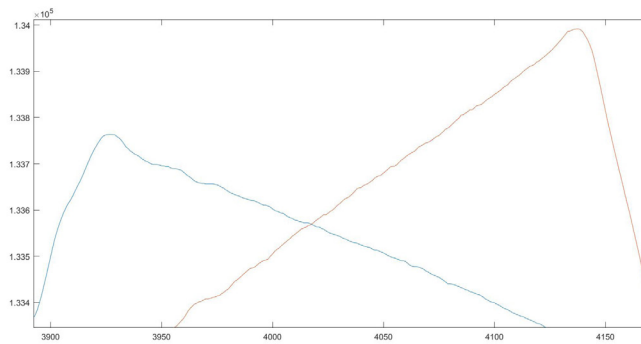


图 3-5

在首次计量检定过程中采集了参考车辆的过车波形，在 1 年后的检定中，再次采集参考车辆的过车波形，并对过车波形进行了分析。具体数据见表 3.1 所示。从表 3.1 可以看出，过车波形无异常 δ 小于 k （根据某型号动态汽车衡统计数据，取值为 0.1），衡器状态稳定。

表 3.1 过车波形数据分析表

	$S1_{max}$ (kg)	$S2_{max}$ (kg)	$mean(S1+S2)$ (kg)	δ	是否异常
首次检定	6562	6365	6552	0.03	否
第 2 次检定	6597	6730	6690	0.02	否
第 3 次检定	6587	6850	6650	0.04	否

需要说明的是，在上述研究中式 3-2 的 δ 值选取是通过对 10 台该型号的衡器进行 2 年的数据统计后得出的值。在 2 年的时间内该型号动态汽车衡的 $(S1_{max}-S2_{max})/mean(S1+S2)$ 值变化符合正态分布。其中统计均值 μ 为 0.007，均方差 σ 为 0.029。根据正态分布理论，值 $(S1_{max}-S2_{max})/mean(S1+S2)$ 在 $(\mu-3\sigma, \mu+3\sigma)$ 以内的概率为 99.73%，因此在检验衡器状态时将 k 值取为 0.1。

由于不同类型动态汽车衡的 $(S1_{max}-S2_{max})/mean(S1+S2)$ 值分布可能有差异，在推广的过程中，需要更加广泛深入的研究才能得出准确适当的 k 值。

上述方法不仅可以用于动态汽车衡在使用过程中的稳定性监测，也可以用于衡器计量检定前衡器状态快速检验，检验数据可以用作衡器计量检定的参考。

3.3 传感器波形在计量检定中防作弊的应用

动态汽车衡的过车波形是参考车辆通过衡器时传感器产生的波形数据，其一方面反映了车辆的特征，另一方面反映了衡器的状态。理论上如果衡器的状态未发生改变，参考车辆两次通过衡器的过车波形在经过相同的算法处理后，应该得到相同的出车结果。但实际上，由于结构疲劳性、环境变化等原因，衡器在使用过程中状态会有微小改变。

基于以上分析，在衡器检定前，可要求被检定方提供一套参考仪表，参考仪表与衡器所使用的仪表一致，参考仪表刷写程序与现场仪表所用程序一致。参考仪表由检定方封存。

在检定前，记录被检定仪表的首次检定参数，并记录参考车辆通过衡器时的车辆波形数据和现场出车结果；

将记录的首次检定参数写入参考仪表中，并将车辆的波形数据导入到参考仪表中，比较参考仪表的参考出车结果和现场出车结果是否一致。若参考出车结果和现场出车结果一致，则认为现场仪表的出车结果真实可靠；具体操作见图 3-6 所示。

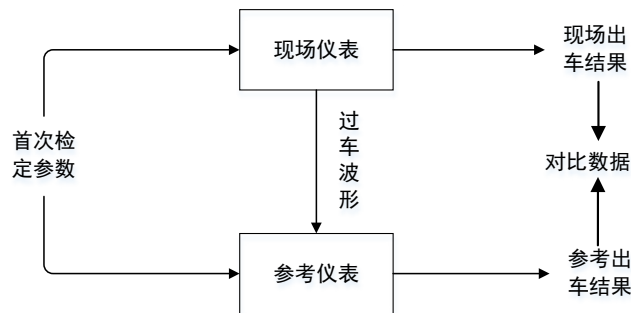


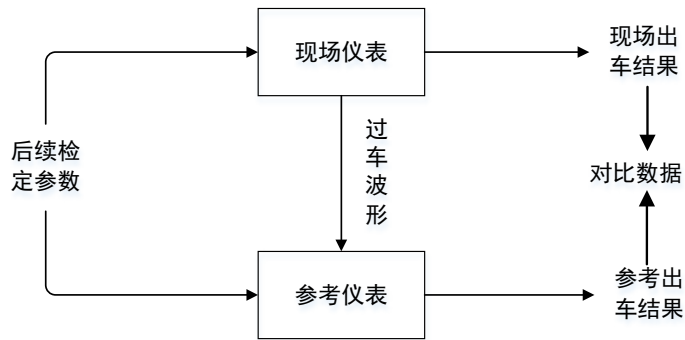
图 3-6

在后续检定中，记录参考车辆通过衡器时的车辆波形数据，并记录现场仪表的现场出车结果和后续检定参数；

将后续检定参数写入参考仪表中，并将记录的车辆波形数据导入到参考仪表中，对比参考仪表的出车结果和现场仪表的出车结果，若出车结果一致则说明现场仪表的出车结果真实可靠；对比首次检定参数和后续检定参数，若参数变化小于 d （根据某型号动态汽车衡统计数据， d 取值为 5%），则说明衡器状态良好，没有通过修改参数修正特定车型的可能。具体操作流程见图 3-7 所示。

需要说明的是，上述研究中动态汽车衡参数变化的参考量 d 为统计了该型号衡器在 2 年内的变化得出的统计值。由于不同型号动态汽车衡的参数变化会有差异，参考量 d 的上述取值具有一定的局限性。在推广上述防作弊检定方法时，需要在广泛深入研究不同型号动态汽车衡的参数变化后才能得到准确适当的取值。

另外，为避免被检定方在现场仪表中写入特定参数以适应计量检定用的特定参考车型、特定装载重量和特定行驶速度。在后续的检定过程中，选取参考车型、装载重量和行驶速度时，应注意避免与上一次检定样本一致。具体操作时，可改变样本的 30% 特征，以检测衡器对不同车型、不同载荷、及不同车速的适应性。



四、结束语

本文对电阻应变式传感器的波形数据在衡器使用过程中的状态检验和计量检定的防作弊方法做了初步的探索。在成本可控的情况下，对更好的评估衡器的精度和使用状态产生了一定的积极效果，为避免计量检定中的作弊行为提供了一个新思路。本文所提出的方法成本低、效率高、可实施性强，在进一步完善动态公路车辆自动衡器的状态检验方法和计量检定防作弊方法上具有一定的现实意义。

【参考文献】

- [1]GB/T21296-2007, 动态公路车辆自动衡器 [S].
- [2]GB/T 7551-2008, 称重传感器 [S].
- [3]JJG 907-2006, 动态公路车辆自动衡器计量检定规程 [S].
- [4]COST323, “Weight-in-Motion of Road Vehicles” Final Report[S].