

对“3D 动态衡”概念的一些思考

□陕西四维衡器科技有限公司 陈增典 赵新琴 王建云 韩莉洁

【摘要】“3D 动态衡”的概念是通过测量车辆对轴计量设备的纵、横向的水平冲击力，计算出车辆的加速度，确定惯性力对轴重的影响，从而解决轴重式动态公路自动衡器在车辆非匀速行驶时的计量准确度问题。本文对这个问题进行了分析论证，认为这种做法不可取。

【关键词】“3D 动态衡”；惯性力；轴计量设备；动态称重

文献标识码：B

文章编号：1003-1870（2023）12-0019-04

1 问题的提出

大约在五六年前，有人提出“3D 动态称重”问题，乍一听觉着概念新奇，但经过认真思考之后，放弃了对“3D 衡器”的幻想。最近又看到一些关于“3D 衡器”的文章，且有人屡屡提起“3D 衡器”，遂写本文，谈一下自己的一些看法。

所谓“3D 动态衡”概念，实质上是想通过对车辆经过轴计量动态称重衡器时，测量车辆对衡器纵向、横向的冲击力，以及秤台称取的重量，经过计算处理，希望测量出真实的轴重，从而解决轴计量设备在车辆非匀速过衡时计量失准的问题。

轴计量设备在车辆非匀速行驶时，计量不准，会出现严重超差现象，是不争的事实。近年来对如何提高轴计量设备计量准确度，行业各厂家也在积极的探索。

那么，通过“3D”方法是否可以解决轴计量设备在车辆非匀速行驶时的称量准确度问题呢？在此阐述一下本人对这个问题的看法。

2 问题分析

2.1 行驶中的车辆受力分析

下图是一辆行驶中的两轴车辆受力分析图：

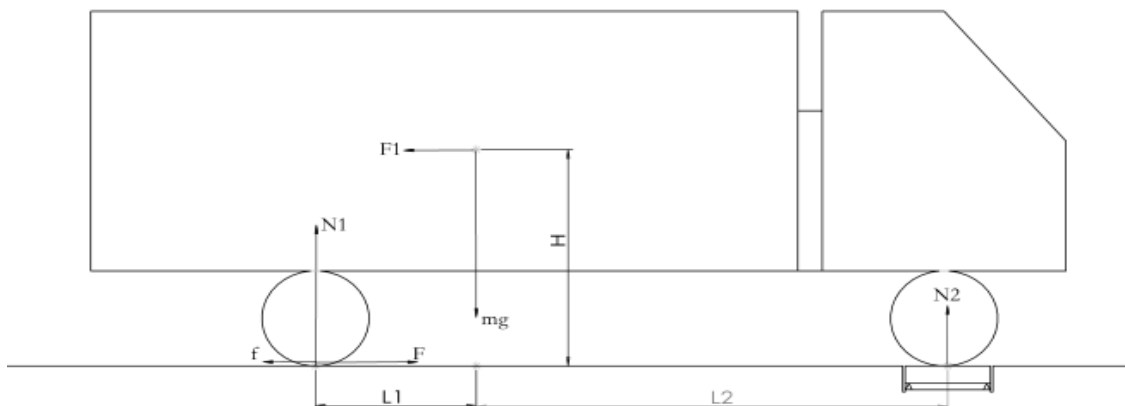


图1 行驶中的车辆受力分析

图中： F 车辆的牵引力； f 车辆所受的阻力； mg 车辆所受的重力； F_1 车辆的惯性力，其方向为水平方向， $F_1=ma$ （ a 为车辆加速度，车辆加速时 a 值为正，方向向前，减速时 a 值为负，方向向后）； N_1 后轮所受的支持力， N_2 前轮所受的支持力； H 车辆重心高度， L_1 后轮至重心的水平距离， L_2 前轮至重心的水平距离。

通过受力分析，我们可以得出：

$$N_1 = \frac{mgL_2 + maH}{L_1 + L_2} \quad (1)$$

$$N_2 = \frac{mgL_1 - maH}{L_1 + L_2} \quad (2)$$

$$N_1 + N_2 = mg \quad (3)$$

可以看出，行驶中的车辆加速时，前轴受到的地面支持力明显减小，后轴受到的地面支持力明显加大。反之车辆减速时，前轴受到的地面支持力加大，后轴受到的地面支持力减小。其载荷变化的大小与加速度、车辆重心高度、前后轴距（ L_1+L_2 ）有关。加速度越大、重心越高，影响越大；轴距越小，影响越大。如果要根据车辆的加速度大小来确定其对车辆轴重的影响量，首先需要准确测量车辆过衡时的加速度，还需要准确测量车辆的重心高度，重心至前后轴的距离。

“3D 动态衡”概念想通过测量衡器受到的水平方向（包括纵向、横向）的冲击力来确定车辆的加速度，从而计算出惯性力对车辆轴重的影响。这种想法似乎有一定的道理，但现实中车辆对秤台的水平冲击力极其不稳定，且变化范围很大，很难用于工程计算。究其原因，大概有以下几个方面：

（1）称量区路面平整度的影响

称量区路面并非理想平面，对于轴计量衡器而言，车辆称重时，仅一个轴位于衡器上，其余轴在衡器以外的路面上，路面的局部凹凸会使车辆对秤台产生冲击力。

（2）车辆轮胎花纹的影响

车辆轮胎花纹影响着轮胎对地面的附着力（俗称抓地力），也影响着车辆对秤台的冲击力。

（3）货物的刚性影响

无论什么货物，当车辆加减速时，其在车厢里都会有位移、变形。

（4）车辆减震系统的影响

车辆的减震系统（如弹簧钢板）、车厢大梁都会产生变形，这些变形会影响车辆对秤台的冲击力。

影响车辆对秤台冲击力变化的因素很多，不再一一列举。

诸多因素影响着车辆对秤台的冲击力，因此，要通过测量车辆对秤台的水平冲击力，准确计算出车辆称重时的加速度，从而计算出惯性力对轴载荷的影响，困难很大。

2.2 车辆的有关参数如何测量

从前面的公式（1）（2）可以看出，要通过加速度的变化计算出车辆轴重，需要准确测量的参数有：车辆的轴距（ L_1+L_2 ）、中心高度（ H ）、重心到某轴的水平距离（ L_1 或 L_2 ）、车辆的质量（ m ）、车辆的加速度（ a ）。式中只有车辆的轴距比较好测量，利用现有的技术可以解决，其余参数测量均很困难。

从车辆受力分析过程我们可以看出，在整个分析过程中，为了简化问题，设置了一个假设条件，认为车辆是一个刚性体。这个分析只是说明，在同一时刻称取车辆的前后轴重量将其相加等于车辆总重。但实际上，车辆的减震系统（弹簧钢板、轮胎、大梁）的变形也会对轴重产生影响。

2.3 多轴车辆的轴载荷计算为超静定问题

两轴车辆的轴载荷分布求解还相对容易，而多轴车辆的轴载荷分布，则是一个超静定问题，即使在静止状态下计算起来也很麻烦。以一辆4轴车为例（如图2所示），假设已知车辆总重、重心位置，在车辆静止状态下求解各轴的载荷。我们已知车辆总重量 P ，各轴间距以及车辆重心到各轴的距离 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 ，求解各轴的载荷 N_1 、 N_2 、 N_3 、 N_4 ，根据已知条件，可以列出下列方程：

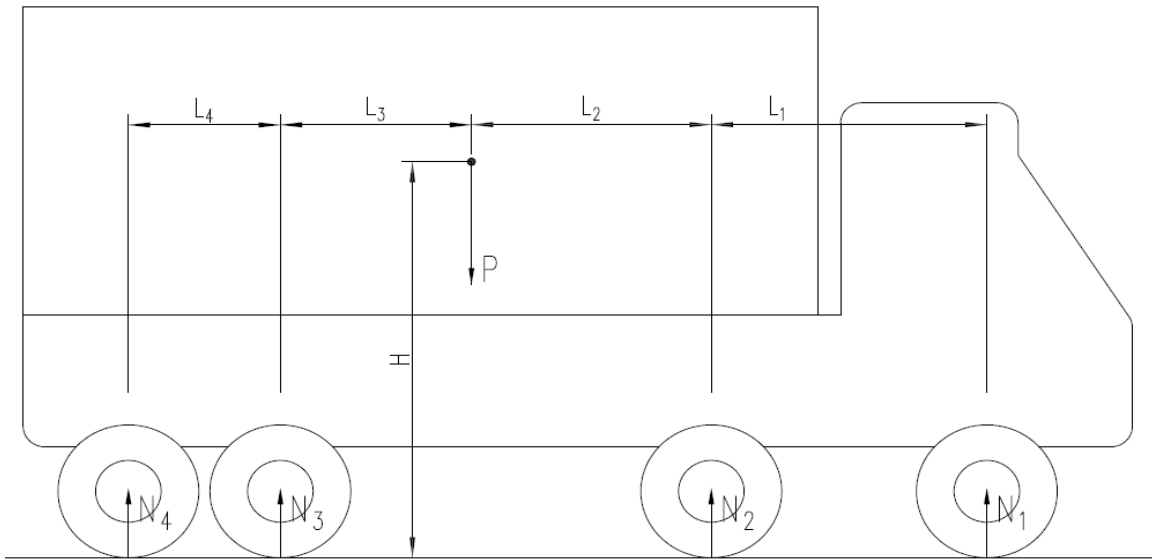


图2 四轴车辆受力分析图

$$N_1 + N_2 + N_3 + N_4 = P \quad (A)$$

$$N_1 \times (L_1 + L_2) + N_2 \times L_2 = N_3 \times L_3 + N_4 \times (L_3 + L_4) \quad (B)$$

根据已知条件，我们仅能列出(A)(B)两个方程，而要求解的未知数却多达4个，显然根据已知条件，无法获得答案。

工程上要解决此类问题，则需要增加许多条件，比如引入车辆各轴的刚度系数，车辆大梁的刚度系数，利用胡克定律确定变形对力的影响，从而解决问题。静止的车辆轴重与总重的关系都如此复杂，行驶中的车辆（甚至变速行驶中的车辆）轴重与总重的关系就更为复杂。如果要用“3D”方法解决轴重与车辆总重的关系，不知道车辆总重，不知道车辆重心位置，更不知道车辆减震系统的刚度系数，而这些参数在车辆行驶过程中要在有限的时间内准确测量，以现有的技术条件几乎是不可能的。

2.4 实现“3D”称重使得秤体结构复杂

要测量车辆对秤台水平方向（纵向、横向）的冲击力，必然要增加多只传感器，会使得秤体结构变得很复杂。在秤台前后晃动时，如何保证侧向传感器准确测量？秤台左右晃动时，又如何保证纵向传感器准确测量？这些都会给结构设计带来很大考验。且由于传感器数量的增加，会产生大量的数

据、信息，带来更多的故障点，给后续的维护保养带来诸多问题。

3 结语

通过以上分析可以看出，要用所谓的“3D动态”方法解决现有轴计量设备在车辆非匀速行驶时的计量准确度问题，在现有技术条件下几乎是不可能的。尽管“3D动态”概念已经提出至少五六年时间了，但仍未见到所谓的“3D动态衡”问世，也说明其难度。

在解决实际工程问题时，通常的做法是设定一些假设条件，尽量将问题简化，从而得出一个满足使用要求的结果。而不是将问题复杂化，增加解决问题的难度。比如，基于前面车辆受力分析得到的(1)(2)(3)三个公式我们发现，同时称取车辆各轴的重量，将其相加，应该等于车辆总重。于是，陕西四维衡器科技有限公司开发了“模组式动态公路自动衡器”，较好地解决了车辆非匀速行驶时的称重问题。

以上是我们对“3D动态衡”的一点粗浅看法，欢迎批评指正。

附：模组式动态公路自动衡器非匀速行驶检测结果



陕西省计量科学研究院

Shaanxi Institute of Metrology Science

测试结果

Results of Measurement

报告编号: CZ30230264C
Report No.

第3页 共8页
Page 3 of 8

车型	通行状态	速度	最大示值误差
两轴刚性	非匀速	≤30km/h	-0.38%
三轴刚性	非匀速	≤30km/h	-0.10%
六轴铰链	非匀速	≤30km/h	-0.20%

说明:

一、本系统的框架主要由三部分组成:

- 1、传感器系统 (多路秤台和各类传感器);
- 2、数据采集系统 (完成各类传感器数据的采集);
- 3、主控系统 (算法计算和用户交互), 数据采集系统和主控系统之间通过千兆以太网进行连接通信。

二、测试过程描述:

1、两轴刚性车装载砝码适量、三轴刚性车装载砝码适量、六轴铰链车装载适量砝码, 在每种车型上均安装加速度测试仪;

2、在承载器上以≤30km/h的速度非匀速(上秤、任意刹车, 任意加速, 最终停止或驶离承载器)通过承载器, 记录测试数据;

三、加速度图: 见证书第4、5、6、7、8页。

测试说明: 测试车辆为: 两轴刚性车辆一辆(重11.39t)、三轴刚性车辆一辆(重19.39t)、六轴铰链车辆一辆(重30.57t)。测试中车辆速度在10km/h~30km/h之间; 车辆进入称量区, 任意加减速, 称量结果全部满足动态1级秤的准确度要求。

参考文献

[1] 陈增典等.《国际建议OIML R 134-1:2006〈动态公路车辆自动衡器〉带来的困惑》[J]. 衡器, 2019, 11.

[2] 王建军等.《基于提高公路精准性的分析与探讨》[J]. 中国计量, 2023, 10.

作者简介

陈增典, 男, 汉族, 1961年11月生, 正高级工程师。中国衡器协会专家委员会委员, 中国衡器协会自动衡器专业委员会委员, 中国衡器协会团体标准技术委员会委员, 中国计量测试学会委员, 福建省计量测试学会委员。