

轴组式动态公路自动衡称重系统浅析与动态检定方法研究

□甘肃省计量研究院 王一丞

【摘要】轴组式动态公路自动衡目前在高速公路和超限检测站得到十分广泛的应用，是衡器计量领域使用较为广泛的计量设备，了解其称重系统、掌握其检定方法对衡器计量工作者来说很有必要。本文首先介绍了轴组式动态衡称重系统的组成，其次对其称重检测工作原理进行了阐述，最后以三轴厢式计量检衡车为例，全面系统地叙述了轴组式动态衡现行动态检定方法，并探索了不同试验环境条件对检定结果的影响，同时提出了现行检定方法下实际检定过程中存在的三个关键性问题。本文为进一步完善修改动态公路车辆自动衡器动态试验具有一定的实践指导作用。

【关键词】称重系统；轴组式动态衡；衡器计量；动态检定

文献标识码：B

文章编号：1003-1870（2023）05-0021-05

引言

目前，国内使用的公路汽车衡器主要有两类：一类是整车式计重衡，主要用于大型企业物流厂区等，其利用静态检测原理，当车辆驶入秤台停止后，检测车辆的整备总质量。另一类是动态车辆自动衡，常作为公路称重和超限检测站的计量设备，当车辆驶入秤台时，其可动态检测车辆行驶状态，通过称重系统动态称重算法计算出车辆总质量。第一类安装工程量大、成本较高；第二类施工难度小，工程量小且成本小，越来越多地受到使用单位的青睐。尤其近年来，在新修建的公路中安装使用的计重设备绝大多数为动态自动衡，其中，使用最多、最典型的就是轴组式动态公路自动衡。

轴组式动态公路自动衡是通过车辆轮轴（轴组）识别设备、红外车辆分离器、地感线圈及称重控制器等检测设备，识别和存储车辆的轴型、轴（轴组）数、轴（轴组）重、整车重量、行驶速度、检测时间及倒车信息等数据，得到计重收费所需的信息，然后再上传至收费系统。目前已成为高速（一级）公路计重衡器更新换代的首要产品。

1 称重系统构成

轴组式动态公路自动衡称重系统，主要由称重平台、轮胎识别器、轴数识别器、称重控制单元、红外光栅分离器、地感线圈等构成。系统组成如图1所示。

1.1 称重平台

称重平台由承重台面、称重传感器、限位装置等构成，对驶入承重台的车辆进行实时重量称重并通过通讯接口传输给称重控制器。轴组式动态自动衡通常情况下采用短台面（台面尺寸规格为（3~4.2）×（4~6）m），称重平台尺寸可根据车道类型和客户的需求个性化定制，称重台面本身具有防滑、防擦边行驶及动态限位作用。

1.2 轮轴识别器

轮轴识别器由轮轴识别传感器、轮轴识别台面和相关线缆等部件组成。其通过行驶车辆对传感器的作用情况来识别车辆轮胎的单/双情况，通常采用压力感应式传感器作为信号采集单元，既有轮胎识别功能，且对总重为吨位级以上的车辆识别准确度达到99%以上，同时也具有轴识别功能，能够实时监控驶入称重平台的车辆轴数。

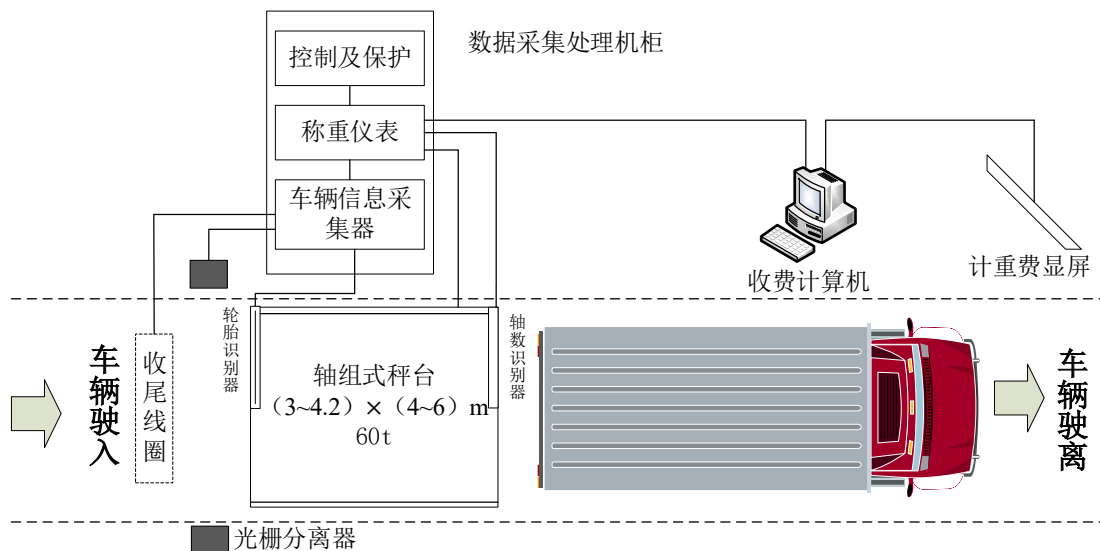


图1 轴组式动态公路自动衡称重系统示意图

1.3 称重控制单元

称重控制单元是整个称重系统的核心控制装置，由数据采集处理单元、控制接口单元、电源单元、线缆接线单元和机柜外壳等组成。当车辆驶入秤台后，称重传感器和红外光栅分离器采集的数据信号传入称重控制器，经过称重控制器分析处理，形成完整的匹配信息显示在控制器显示屏上，同时将车辆的整车重量、轴数、轴重、车辆行驶速度等信息通过串行接口，传输给车道收费系统。

1.4 红外光栅分离器

红外光栅分离器主要由红外线光幕发射装置和接收装置、分离器外壳和控制器等构成，安装在称重平台前方引道两侧。工作时连续发射高密度的红外光幕，能够消除跟车现象，保证检测数据与通行车辆的一一对应。此外，其具备自动除霜、温湿度控制、自诊断容错功能。

1.5 地感线圈

地感线圈由埋在车道的环形线圈、线圈检测器等构成，与红外光栅分离器共同作用，对车辆进行分离。地感线圈的检测电路是一个LC振荡电路，当车辆通过埋有地感线圈的区域时，会切割磁感线，引起电感量和振荡频率的变化，此变化可以识别车辆是否经过地感线圈。当红外光栅分离器发生故障时，系统自动切换地感线圈工作，完成车辆的分离

和收尾任务。

2 称重系统工作原理

轴组式动态公路自动衡核心任务是轴数和轴（轴组）重以及车辆的行驶状态的检测。红外车辆分离器 and 线圈检测器判断车辆称重的启动和结束。轴数识别器记录车辆轴数，秤台重量的变化可以得到轴重，在称重过程中，系统将轴与车辆准确对应，累计车辆相应的轴重，即可得到每辆车的总重量。

(1) 当第一辆车驶入秤台时，红外车辆分离器遮挡，称重系统启动。

(2) 称重系统根据车辆车轴依次驶入、驶离秤台的变化，以秤台每次容纳的车轴数量连续建立轴组模型 $\sum 1 - \sum n$ ，并分别检测采集 $\sum 1 - \sum n$ 每个轴组模型的称重数据信息，可以得到第一辆车每个轴的轴重和总重。

(3) 若第二辆车驶入秤台，系统继续建立轴组模型 $\sum (n+1) - \sum m$ ，并分别检测采集 $\sum (n+1) - \sum m$ 每个轴组模型的称重数据信息，再与轴组模型 $\sum 1 - \sum n$ 比较，得到第二辆车每个轴的轴重和总重。

(4) 以此方法，可以连续跟车称重，得到每辆车的轴重和总重。

3 轴组式动态衡的动态检定方法

3.1 现行动态检定方法

目前，轴组式动态公路自动衡检定依据JJG 907-2006《动态公路车辆自动衡器》国家计量检定规程，在检定中，必须测试其车辆总重量示值和轴载荷示值。

3.1.1 车辆总重量的检定

将已知约定真值的参考车辆通过轴组式动态衡进行称量，称量示值TMV与参考车辆的约定真值(TMV_{ref})之差，就是轴组式动态衡的示值误差。需满足示值误差|E_{TMV}|=|TMV-TMV_{ref}|≤|MPE|。

3.1.2 轴载荷示值的检定

依据R134国际建议和JJG907-2006《动态公路车辆自动衡器》国家计量检定规程规定，使用双轴刚性参考车辆进行单轴载荷约定真值的确定方法比较简单和容易理解，这里不在赘述。下面主要研究采用计量检衡车（以三轴厢式计量检衡车为例）进行单轴（轴组）载荷示值的检定方法。

对于三轴厢式计量检衡车而言，无法将其进行分割来实现单轴（轴组）的称量，故采用静态称量的方法不能得到轴载荷的约定真值。因此应该找出一个接近轴载荷约定真值的“参考值”来替代轴载荷的约定真值。受“双轴刚性参考车辆以静态称重轴载荷获得其单轴载荷约定真值”的启发，此“参考值”可以是轴载荷的修正平均值 $\overline{CorrAxle}_i$ 。前提是在多次（10次或20次）动态称量中，轴载荷的平均值之和与车辆总重量的平均值十分接近，且该值与车辆总重量约定真值的差值，应小于动态车辆总重量最大允许误差的。

三轴厢式计量检衡车单轴（轴组）载荷约定真值 $\overline{CorrAxle}_i$ 的确定方法如下所示：

Step1：检衡车在称量控制区域外（保证足够的距离）开始启动，以规定的速度驶入称量区进行检测，按照规程规定的要求，检测次数。其中，在典型行驶速度下动态检测10次，以确定单轴载荷和轴组载荷的修正值。

Step2：计算检衡车前轴载荷的平均值：

$$\overline{Axle}_{前} = \frac{\sum_{j=1}^n Axle_j}{n}, \quad n=10$$

Step3：计算检衡车后轴组载荷的平均值：

$$\overline{AxleGroup}_{后} = \frac{\sum_{j=1}^n AxleGroup_j}{n}, \quad n=10$$

Step4：计算检衡车总质量的平均值：

$$\overline{TMV} = \frac{\sum_{j=1}^n TMV_j}{n}, \quad n=10$$

Step5：计算检衡车前轴载荷的修正平均值：

$$\overline{CorrAxle}_{前} = \overline{Axle} \times \frac{TMV_{ref}}{TMV}$$

Step6：计算检衡车后轴组载荷的修正平均值：

$$\overline{CorrAxleGroup}_{后} = \overline{AxleGroup} \times \frac{TMV_{ref}}{TMV}$$

其中，轴（轴组）载荷的修正系数= $\frac{TMV_{ref}}{TMV}$ 。

至此，三轴厢式检衡车前轴载荷和后轴组载荷的约定真值（“参考值”）就是上述前轴载荷、后轴组载荷的修正平均值。

为确保检衡车轴（轴组）载荷的溯源性要求，检衡车的前轴、后轴组载荷的修正平均值之和应等于检衡车整车静态称量方式下确定的检衡车总重量的约定真值，即 $TMV_{ref} = \overline{CorrAxle}_{前} + \overline{CorrAxleGroup}_{后}$ 。

使用三轴厢式计量检衡车检定轴组式动态衡时，在接近最大运行速度 V_{max} 和最小运行速度 V_{min} 之间速度平均分布进行10次动态试验（6次由自动衡承载器的中心通过，2次由靠近承载器的左侧通过，2次由靠近承载器的右侧通过）。检衡车前轴载荷的示值与其对应的修正平均值之间的最大偏差不应超过规程规定的最大允许偏差。即 $|Dev_{Axle_{前}}| = |Axle_{前} - \overline{CorrAxle}| \leq |MPD|$ ；检衡车后轴组载荷的示值与其对应的修正平均值之间的最大偏差不应超过规程规定的最大允许偏差，即 $|Dev_{AxleGroup_{后}}| = |AxleGroup_{后} - \overline{CorrAxleGroup}| \leq |MPD|$ 。

3.2 不同试验环境条件对检定结果的影响及分析

3.2.1 过衡速度对动态检定结果的影响及分析

选取安装在G30高速公路某收费站入口治超车道的轴组式动态公路自动衡，型号为ZDG-60-DZ，性能指标为最大单轴或轴组载荷30t，动态整车总重量1级，单轴或轴组载荷准确度等级B级，分度值为20kg。试验采用三轴厢式计量检衡车，以不同的速度整车通过称量控制区，试验数据如下表1所示。

表1 三轴厢式计量检衡车的动态试验记录

静态称重 TMV_{ref}		26800kg	修正系数= TMV_{ref}/\overline{TMV}		0.997
序号	车速(km/h)	TMV(kg)	序号	速度(km/h)	TMV(kg)
1	3	26900	6	8	26920
2	4	26840	7	9	26900
3	5	26860	8	11	26960
4	6	26820	9	5	26840
5	7	26920	10	3	26880
平均值		26884kg	修正平均值		26800kg

从上表数据来看，在低速度和较高速度运行下，称重数据值相对较大，在中速（速度为5km/h和km/h）时，称重数据比较接近静态整车重量。在称重速度范围（1~10）km/h内，此轴组式动态衡的最大偏差MPD为120kg，最大误差为0.45%，满足动态整车总重量1级（最大允许误差 $\pm 0.5\%$ ）的要求。然而在大于最高称量速度（ V_{max} ）的10%的运行速度通过称量控制区时，轴组式动态衡的最大偏差MPD为160kg，最大误差为0.6%，不满足动态整车总重量1

级的标准，实则为2级（最大允许误差 $\pm 1\%$ ）。

3.2.2 公路条件对动态检定结果的影响及分析

选取某高速公路若干个收费站不同路面条件下车道安装在用的轴组式动态自动衡，型号为DCS-60KII，准确度等级为整车总重量，称重准确度1级，轴或轴组重量称重准确度B级，分度值为20kg。试验采用三轴厢式计量检衡车（整车静态称重26800kg），以不同的速度整车通过称量控制区，试验数据如下表2所示。

表2 不同路面条件下的轴组式动态衡动态试验记录

车道编号	车道1		车道2		车道3		车道4	
公路条件	路面平整		路面有坡度		路面有减速带		引道有转弯	
序号	车速(km/h)	TMV(kg)	车速(km/h)	TMV(kg)	车速(km/h)	TMV(kg)	车速(km/h)	TMV(kg)
1	3	26900	3	26900	3	26880	3	26900
2	4	26840	4	26920	4	26900	4	26880
3	5	26860	5	26920	5	26920	5	26940
4	6	26820	6	26940	6	26960	6	26840
5	7	26920	7	26880	7	26960	7	26920
6	8	26920	8	26820	8	26980	8	26940
7	9	26900	9	26900	9	27000	9	/
8	10	26920	10	26960	10	27060	10	/
9	5	26840	5	26940	5	26940	5	26960
10	11	26940	11	27000	11	27120	11	/
平均值		26886	/	26918	/	26972	/	/
最大偏差MPD		140	/	200	/	320	/	160

从表2数据来看，在不同路面条件下安装在用的同一型号的轴组式动态衡动态试验称重结果相差较大。路面平整的条件下，轴组式动态衡动态试验的最大偏差MPD为140kg，最大误差为0.5%，满足动态整车总重量1级（最大允许误差 $\pm 0.5\%$ ）的要求；路面坡度的条件下，轴组式动态衡动态试验的最大偏

差MPD为200kg，最大误差为0.75%，不满足动态整车总重量1级（最大允许误差 $\pm 0.5\%$ ）的要求，实则为整车总重量2级（最大允许误差 $\pm 1\%$ ）。路面有减速带的条件下，轴组式动态衡动态试验的最大偏差MPD为320kg，最大误差为1.2%，不满足动态整车总重量1级（最大允许误差 $\pm 0.5\%$ ）的要求，实则为

整车总重量5级（最大允许误差 $\pm 2.5\%$ ）。引道有转弯条件下，轴组式动态衡动态试验的最大偏差MPD为160kg，最大误差为0.6%，不满足动态整车总重量1级（最大允许误差 $\pm 0.5\%$ ）的要求，实则为整车总重量2级（最大允许误差 $\pm 1\%$ ）。可见路面环境条件对轴组式动态衡的动态称重结果和准确度的影响较大，导致了实际试验结果与衡器铭牌信息不符。

3.3 现行检定方法的探讨和思考

3.3.1 检定时检衡车通过称量控制区的速度

JJG907-2006《动态公路车辆自动衡器》检定规程中没有明确规定车辆通过称量控制区的速度范围和典型速度值，建议应该给出合理的速度范围。从多年实际的检定情况来看，受现场环境、检定操作及车辆运行等影响，车辆过衡的速度通常不超过15km/h。使用非双轴刚性参考车辆进行试验获得其单轴（轴组）载荷重量值时，典型速度值可为最大运行速度 V_{\max} 和最小运行速度 V_{\min} 的中间值（通常为(5~8)km/h）。特别是在一些检定场所，安装衡器的场地条件不符合相关要求，在进行检定时，受现场环境的约束，车辆的行驶速度不能超过10km/h，有时甚至速度要更低，否则检定存在安全隐患，甚至发生事故。

3.3.2 现场检定时动态准确度等级的确定

从使用的场景来看，实际只有部分超限检测站安装的轴组式动态衡能够达到规程规定的安装要求，大多数安装在高速（一级）公路收费站的轴组式动态衡不满足使用场地和技术要求。则在实际检定中，如果按照检定规程的操作要求检定并依据衡器生产厂家给出的铭牌信息，则很大一部分衡器检定不合格，其准确度等级达不到铭牌信息给出的准确度等级（1级）要求。

3.3.3 检定项目的确定及思考

依据检定规程，在进行轴组式动态衡动态检定时，需要检测参考车辆总重量和单轴（轴组）载荷重量，而在实际工作中，绝大多数省计量院或检定机构并没有检测单轴（轴组）载荷重量，而只是检测车辆总重量来评判动态检定结果。从实际检定结果和衡器使用状况来看，虽然没能严格的依据检定规程检定，但是基本上能满足溯源性要求，且缩短了检定时间、提高了工作效率。

4 总结

轴组式动态公路自动衡是高速公路收费站安装的重要计重设备，近年来随着公路的快速建设越来越受到业主单位的青睐，因其成本低、易安装、称量准确度较高等特点，被众多项目管理公司采购。文章中对轴组式动态衡称重系统的构成进行了介绍，并详细叙述了车辆称重检测的过程和原理，同时以计量检衡车实际检定为例，阐述了现行动态检定方法，并对不同试验环境条件对检定结果的影响进行了分析，给出了在多年检定过程中几个关键问题和思考。上述的研究对设备维护单位和同行检定人员具有实际的指导意义，也为JJG907-2006《动态公路车辆自动衡器》检定规程的未来修订，提供了实际参考和建议。

参考文献

- [1] 刘露. 动态公路车辆智能自动衡器的应用研究[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2016, 12(10): 224-226.
- [2] 马丙辉, 余善成, 秦树伟等. 动态汽车衡及其检定中的思考[J]. 衡器, 2019, 48(05): 17-21.
- [3] 鲁新光, 申东滨, 张岩. 整车式与轴重式动态汽车衡的基本概念和试验方法的探讨[J]. 计量技术, 2016(01): 12-15.
- [4] 尚贤平, 周振高, 张光成等. 基于低速条件下动态公路车辆自动衡器动态检定方法的探讨[J]. 衡器, 2009, 38(05): 20-23.
- [5] 李同波, 赵林, 侯永庆等. 有关动态公路车辆自动衡器检定问题的探讨[J]. 计量与测试技术, 2008(01): 23-24.
- [6] 杨丽琴. 高速公路轴组式动态计重系统浅析[J]. 中国交通信息化, 2016(06): 107-108+112.
- [7] 陈增典, 韩莉洁, 王建云等. 动态公路车辆自动衡型评、检定方法探讨[J]. 衡器, 2020, 49(11): 18-20.
- [8] GB/T 21296.3-2020, 动态公路车辆自动衡器第3部分: 轴重式[S].
- [9] JJG 907-2006, 动态公路车辆自动衡器[S].

作者简介

王一丞, 男, 本科学历, 助理工程师, 现供职于甘肃省计量研究院, 研究方向: 衡器计量。