

动态汽车衡非匀速称量条件下保证计量性能不变的条件分析

□山东金钟科技集团股份有限公司 范韶辰 张强 胡晓曼

【摘要】国际法制计量组织的国际建议OIML R 134: 2006《动态公路车辆称重及轴载测量自动衡器》和我国的国家标准GB/T 21296.1-2020《动态公路车辆自动衡器第1部分：通用技术规范》对动态汽车衡称量速度的规定都是要匀速通过动态汽车衡。虽然称量速度有低速、中速或高速的不同，但称量过程中不允许刹车或者加速而改变称量速度，以免引起称量结果不准。中国衡器协会制定了团体标准T/CWIAS0006.2-2024《动态公路车辆自动衡器第8部分：模组整车式》，其中规定了非匀速行驶称量功能：最高运行速度不应高于20km/h，其最大允许误差与匀速称量时的最大允许误差相同。本文结合整车式动态汽车衡在公路现场的应用经验，对整车式动态汽车衡非匀速称量时保证计量性能不变的条件进行分析，以便在安装、调校、使用和维护整车式动态汽车衡时，能够提供一定的帮助，便于推广此类新技术。

【关键词】整车式动态汽车衡；非匀速称量；摩擦力；动能；限位装置

文献标识码：A 文章编号：1003-1870（2025）04-0049-06

Analysis on Conditions for Ensuring Consistent Measurement Performance of Dynamic Truck Scales under Non-uniform Weighing Conditions

【Abstract】 The International Recommendation of the Organisation Internationale de M é trologie L é gale OIML R 134: 2006 Automatic Instruments for Weighing and Axle Load Measurement of Road Vehicles in Motion and China's national standard GB/T 21296.1-2020 Automatic Instruments for Weighing Road Vehicles in Motion – Part 1: General Technical Specification stipulate that the weighing speed shall be uniform on the dynamic truck scale. Although the weighing speed is different: low speed, medium speed or high speed, it is not allowed to brake or accelerate to change the weighing speed during the weighing process, so as not to cause inaccurate weighing results. China Weighing Instrument Association has formulated the group standard T/CWIAS0006.2-2024 Automatic Instruments for Weighing Road Vehicles in Motion – Part 8: Whole Load Weighing Modules, which specifies the non-uniform weighing function: the maximum operating speed shall not be higher than 20km/h, and its maximum allowable error shall be the same as the maximum allowable error when weighing at a uniform speed. Based on the application experience of full-vehicle dynamic truck scales on roads, this paper analyzes the conditions for ensuring the consistent measurement performance of the full-vehicle dynamic truck scale during the non-uniform weighing, so as to provide certain help in the installation, calibration, use and maintenance of full-vehicle dynamic truck scales, and facilitate the promotion of such new technologies.

【Keywords】 full-vehicle dynamic truck scale; non-uniform weighing; friction; kinetic energy; limiting device

引言

20世纪90年代初期，国家正处于改革开放发展经济的大好形势下，国内煤炭行业经历了快速发展阶段，煤炭市场需求旺盛，产量大幅提高。政府对煤炭行业给予了多项政策支持，如减免税收和提供贷款等，推动了煤炭行业的发展。作为我国的产煤大省，山西省的煤炭急需运往全国各地，公路管理部门出于对高速公路管理的需要，添置了许多电子汽车衡，要求是将电子汽车衡作地面之上安装，不得破坏高速公路，作为电子地上衡使用。虽然解决了煤炭运输的准确计量问题，但是由于在地面之上安装，称重台高于路面一定的高度，汽车上秤需要爬坡，则大大降低了通行效率，造成高速公路拥堵。

进入21世纪，国内经济的快速发展对公路运输的快捷性提出了更高的要求，在追求利润的驱使下，公路运输产生了大量的超限超载现象，不仅损坏公路、诱发交通事故，而且使驾驶货车成为了高危职业。衡器行业顺应国内交通行业公路超载治理的需求，陆续开发出了轴重式、弯板式、石英晶体式、整车式、平板模块式等动态汽车衡，其产品标准是GB/T21296.1~5—2020《动态公路车辆自动衡器》系列标准，其计量性能的要求等同采用了国际建议OIML R 134的内容。运行速度规定为：被测车辆通过承载器能够进行正常动态称量的平均速度。不允许有刹车、加速等异常过秤行为。随着技术的发展，后来又开发出模组整车式和窄条式动态汽车衡。其中模组整车式动态汽车衡由若干个相互独立的称重模块依次排列组成，每一个称重模块均具有独立称重功能。在模块设计时，选择合理的模块长度尺寸与汽车的轴（组）间距相匹配，使被测车辆通过模组汽车衡时其各个轮轴可以在前后排列的各个模组上独立运行一段时间，瞬时形成整车式称量并实现多次重复的称量，这样可使仪表（软件）准确采样，提高计量准确度。在现场使用中还发现，经过对模组整车式动态汽车衡严格的调整，其可以适用于一定程度的非匀速称量，当被称汽车在称量过程中使用刹车或加速等不良过秤行为时，模组整车式动态汽车衡的称量结果保持原有准确度不变。经过生产厂多次的研究论证和模拟试验，在起草T/

CWIAS0006.2—2024《动态公路车辆自动衡器第8部分：模组整车式》时，就将非匀速称量写入了标准中。

1 整车式动态汽车衡称量过程中受力的变化

载货汽车在离汽车衡称重台一定远的距离启动汽车，往秤台行驶，发动机驱动车轮旋转，车轮与地面接触时产生摩擦力。由牛顿第三定律可以得知：两个物体之间的作用力和反作用力总是大小相等，方向相反，作用在同一条直线上。车轮作用于地面的摩擦力方向往后，地面作用于车轮的摩擦力方向往前，这种摩擦力推动汽车向前移动，此时要求汽车以匀速直线运动向前运动。汽车驶上秤台后，地面就逐渐地转换为秤台，所以此时秤台就受到了车轮给予的方向往后的摩擦力。

随着载货汽车的不断驶入，在秤台上的车辆的轴数逐渐增多，直到全部轮轴都驶上秤台，秤台受到的方向往后的力达到最大值。此时，汽车在秤台上往前移动，秤台受到的摩擦力和车轮往前的驱动力相平衡。在这一阶段，秤台受到汽车全部轮轴的重量，传感器传递完整的、以一条平行直线为中心并伴有上下波动的电压信号，经过仪表（软件）滤波处理，得到载货汽车的重量。

目前，在高速公路上使用的动态汽车衡长度一般为18m~21m，大型载货汽车的长度一般为13.75m。载货汽车的行驶距离受到进入汽车衡之前初速度、汽车发动机驱动力、载货重量、称重台面摩擦系数等的影响。由牛顿第一定律可以知道：使汽车保持匀速直线运动的条件是作用到汽车上的合力为零。所以当汽车的上述受力条件发生变化时，司机就会启动汽车加速或者进行刹车减速。从动态汽车衡使用现场的观察来看，汽车初始速度过高时，受汽车衡秤台宽度和汽车宽度的影响，司机在进入动态汽车衡秤台之前就会刹车，在汽车的最后一轴进入称重台之前，衡器尚未进入整车动态称量阶段，汽车的刹车减速对称量结果影响不大。而往往是载货汽车驶上称重台之后，由于初速度没有掌握好，汽车速度下降太快，司机会启动汽车加速，产生往前的加速度造成汽车车轮的摩擦力急剧变化，推动称重台往后运动，由于称重台和限位装置之间有一定的间隙，则使传感器受到侧向力的作用而发生偏移，

在限位装置的作用下使秤台发生前后晃动，影响动态汽车衡的称量结果。

2 整车式动态汽车衡称量过程中受力分析

由牛顿第二定律可以得知：物体加速度的大小跟它受到的作用力成正比，跟它的质量成反比，加速度的方向跟作用力的方向相同。用公式表达为：

$$a \propto \frac{F}{m}$$

$$\text{或：} \quad F=ma \quad (1)$$

式中：质量的单位是千克（kg），是载货汽车的质量；加速度的单位是米每二次方秒（m/s²），是载货汽车的速度变化；F是载货汽车启动加速拉动汽车往前变速运动所需要的牵引力，当汽车刹车时，加速度为负值，F是阻止汽车往前运动的阻力。

该作用力通过汽车的各个车轮作用到汽车衡的称重台（面）上，是造成称重台发生位移的根本原因。根据动能定理可知：合力在一个过程中对物体做的功，等于物体在这个过程中动能的变化，即汽车加速运行时速度由V₁变化为V₂所需要做的功：

$$W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \quad (2)$$

式中，m为载货汽车的总重。

这部分功转换为使汽车衡称重台往后移动的动能。以桥式称重传感器为例，称重台左（后）移会使钢球沿弹性体的圆弧往上移动，其需要是势能为：

$$W = 1/2m_1h \quad (3)$$

式中，m₁为汽车衡称重台的质量；

h为称重台在垂直方向往上移动的距离。

若：

$$\left(\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2\right) \geq 1/2m_1h \times k \quad (4)$$

式中：k为考虑到摩擦、限位等机械影响之后的转换系数。

上述公式表示：汽车加速产生的动能，大于秤台上升平移的势能时，才能对称重台产生往后的推动力，造成称重台产生往后平移的趋势，称重传感器受力点发生变动，使得计量数据不准。

对于模组式动态汽车衡而言，由于其称重台为6个可以独立称量的模组（设为6个模组），所以，式（4）中m₁应是结构和重量以及限位方式都一样的6块秤台，即：

$$m_1 = m_{11} + m_{12} + m_{13} + m_{14} + m_{15} + m_{16} \quad (5)$$

汽车的整体重量分解到不同的轴、轴组上，设有一个127型号的载重汽车，其轮轴的结构如图1所示。



图1 型号为127的载货汽车轴型结构

则分解到三轴结构的轴组上的重量最大。当模组整车式动态汽车衡称量时，是上述3个轴或轴组都同时压在不同的3组模组上，我们设这时载货汽车在三个轴组上分解的载荷为：m₁轴、m₂轴和m₃轴，可以看出，以三轴组承受的载荷最大。当汽车改变速度做非匀速称量时，同样存在汽车加速（减速）时在m₃轴组上分解的动能，大于秤台m₁₁（行车方向最后一个模组）模组秤台上升平移的势能时，会造成模组的秤台发生晃动，而使称量不准。

$$\text{即：} \quad \left(\frac{1}{2}m_3v_2^2 - \frac{1}{2}m_3v_1^2\right) \geq 1/2m_{11}h \times k$$

由于m₃是载货汽车分解为三部分重量其中的最大值，而m₁₁和其他的模组秤台部分重量相等，所以，模组整车式非匀速的称量方式受载货汽车最大轴组重量的影响最大。

模组式整车动态汽车衡整体结构如图2所示，整车式动态汽车衡的整体结构如图3所示。

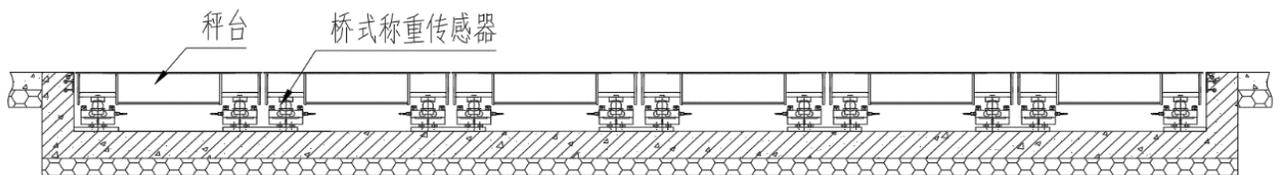


图2 模组式动态汽车衡的整体结构示意图

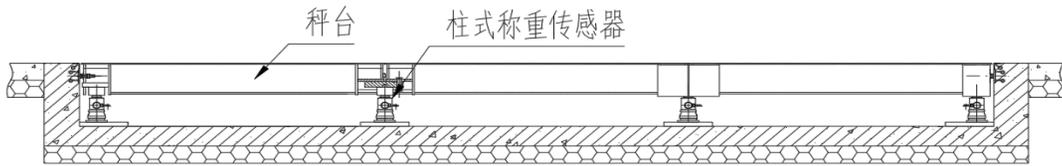


图3 整车式动态汽车衡的整体结构示意图

图4为桥式称重传感器在受到来自秤台的侧向推动力时钢球会左移并上升一定高度的示意图。

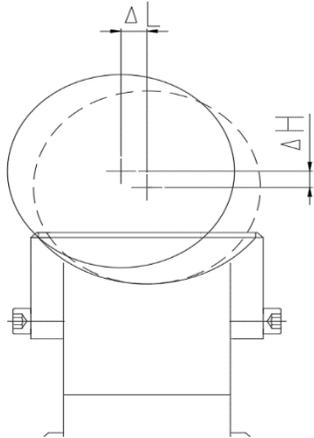


图4 桥式称重传感器受力前后的钢球位置图

图5为柱式称重传感器受到来自秤台的侧向推动力时弹性体会倾斜一定角度受力点也发生旋转移动的示意图。

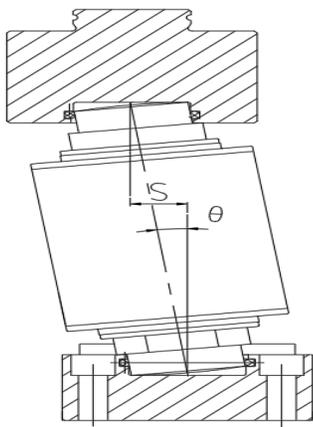


图5 柱式称重传感器受力后弹性体倾斜的示意图

3 整车式动态汽车衡非匀速称量条件下保证计量性能不变的条件分析

整车式动态汽车衡的非匀速称量，受到载货汽车进入汽车衡之前运行距离和运行初速度、汽车发动机驱动力、载货重量、称重台的限位装置间隙、

称重台面摩擦系数、秤台自身重量、动态汽车衡的最大称量等的影响。

3.1 载货汽车进入动态汽车衡的速度要求及其匀变速称量

3.1.1 秤台的前后端须有一定长度的平直段

GB/T 21296.2-2020《动态公路车辆自动衡器第2部分：整车式》的表8对汽车衡的安装路面条件作了规定，见下表。

表 整车式动态汽车衡安装路面条件

准确度等级	称量区长度m	弯道半径	纵向坡度	横向坡度	路面平整度mm
0.2	$\geq L+12$	$\geq 1.5\text{km}$	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$	3
0.5	$\geq L+12$	$\geq 1.5\text{km}$	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$	3
1	$\geq L+12$	$\geq 1.5\text{km}$	$\leq 1\%$	$\leq 2\%$	3
2	$\geq L+12$	$\geq 1.5\text{km}$	$\leq 2\%$	$\leq 2\%$	3
5	$\geq L+12$	$\geq 1.5\text{km}$	$\leq 2\%$	$\leq 3\%$	3
10	$\geq L+12$	$\geq 1.5\text{km}$	$\leq 3\%$	$\leq 5\%$	5

注：L为整车称量设备总长度。

即：秤台前端和秤台后端应有6m长的距离，并与称重台保持在一个水平面，同时保证纵向坡度和横向坡度及路面平整度，供司机驾驶载货汽车驶上秤台时调整汽车的速度和位置使用。

3.1.2 载货汽车进入动态汽车衡的初速度要求

一般的，动态汽车衡的最大称量选择为100t，长度为18m3节秤台，宽度为3.2m或3.4m，秤台上还设计有宽度为100mm左右（单边）高度亦为100mm左右的防擦边结构，而载货汽车的宽度一般为2550mm。同样的，模组整车式动态汽车衡一般为6段结构，每段3.5m，则总长为 $3.5 \times 6=21\text{m}$ ，当三轴装轴组同时驶上秤台后，最大轴组尺寸与模组秤台尺寸的差是汽车称量时的运行距离，由图1中的127型号的载货汽车的轴型结构可以看出这个距离很短，如果汽车运行速度过快则会导致仪表（软件）采样时

间较短，造成计量准确度不高。秤台的台面是花纹钢，具有一定的防滑性，可以保证汽车加速或刹车时不会打滑和跑偏。综合上述因素并考虑到汽车驾驶的安全性，动态汽车衡在收费站应用场景用于超限检测时，最大称量速度不大于20km/h。当用于计重收费时，最大称量速度一般控制在10km/h以内。这也是中国工程建设标准化协会的团标《公路货车不停车计重系统技术规程》3.0.2的要求。

3.1.3 适宜的运行速度

在T/CWIAS 0006.2-2024中规定，应在明显位置标出最高运行速度。GB/T 21296.1-2020中规定了低速动态汽车衡（一般指整车式动态汽车衡）LS-WIM的运行速度范围为 $0 \leq V \leq 10$ ，中速动态汽车衡MS-WIM的运行速度范围为 $0 \leq V \leq 40$ 。T/CWIAS 0002-2023《动静两用电子汽车衡（整车式）》中规定该标准适用于静止或低速（通常其车速不大于10km/h）的整车式汽车衡。考虑到模组式整车动态汽车衡的应用场景以及模组式的独立称量结构，规定其最高运行速度为20km/h也是适宜的，即模组式动态汽车衡是中速运行动态汽车衡。这样就使得车辆的运行速度：“被测车辆通过承载器能够进行正常动态称量的平均速度”的规定和非匀速行驶：“车辆以非匀速的方式通过称重区，如加速行驶或减速行驶等”的规定相统一了。对于模组整车式动态汽车衡的运行速度就可以定义为：被测车辆通过承载器能够进行正常动态称量的速度，包括平均速度和非匀速行驶速度。并且在模组式动态汽车衡的前端距离秤台一定距离设立限速速度范围标志牌为20km/h。

3.2 整车式/模组式动态汽车衡的限位装置

整车式/模组式动态汽车衡限位装置的设置在其非匀速动态称量过程中尤为重要。载货汽车的加速或者刹车产生的动能冲击，通过车轮的摩擦力传递到汽车衡的秤台上，当其动能大于汽车衡秤台往上位移的势能时，就会使秤台在限位装置可以移动的范围左右晃动。速度变化和能量传递的大小与被测载货汽车的质量、秤台的重量、秤台表面的摩擦系数等有关。可能是剧烈的，也可能是平缓的。如果用限位装置将秤台顶死不能移动、没有间隙，又无法克服温度变化对秤台钢结构的影响。受温度影响后，秤台沿长度方向变化的计算公式如下：

$$\Delta l = L \times \alpha \times \Delta T$$

式中： Δl ——变形量 单位 毫米（mm）；

L ——秤台长度；

α ——钢材的线膨胀系数为 $11.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ；

ΔT ——温度变化范围（ $t_2 - t_1$ ），高温减低温。

以18米长度的整车式秤台为例，当一天的温度从 $10^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 变化时，则秤台长度的变化为：

$$\Delta l = L \times \alpha \times \Delta T = 18000 \times 11.3 \times 10^{-6} \times (50 - 10) = 8.1 \text{ mm}$$

在秤台长度的每一边为4.05mm。

对于模组整车式秤体，其长度为3.5m，代入上述公式计算：

$$\Delta l = L \times \alpha \times \Delta T = 3500 \times 11.3 \times 10^{-6} \times (50 - 10) = 1.58 \text{ mm}$$

在秤台长度的每一边约为0.8mm。这就使得通过设计秤台的限位装置，既保证温度变化，使秤台长度变化对限位作用的影响减少到最小，又能对秤台的晃动起一种阻尼作用。一般的，可以设计钢球顶—阻尼弹簧—外加防护及导向套筒的结构；或者是两端拉杆—中间弹簧阻尼器—反向器—外加防护及导向套筒的拉式限位装置。

由上面的分析计算可以看出，由于模组整车式动态汽车衡在环境温度变化时引起的秤台长度方向的变化小，所以在利用限位装置阻止秤台晃动方面比整车式动态汽车衡有一定的优势。

3.3 称重传感器结构型式的选择

桥式称重传感器采用了两端支撑、中间受力、双孔剪切梁结构，传力组件为钢球和带有圆弧结构的上压头，弹性体受力点设计为圆弧，可以使称重传感器受到侧向力时自动复位和调心，方便对秤台受到侧向力时产生抵抗，使秤台快速回复至平衡位置。有的企业在设计上压头时，对上压头的圆弧做了减少设计，并以此来增加秤台的回复力矩，避免秤台晃动。由于为双孔剪切梁结构，传感器的输出信号对承载点发生的微小偏移不敏感，则可以保证动态汽车衡在长期使用过程中的稳定性。

柱式称重传感器的弹性体为圆柱形或为中间薄壁盲孔的圆柱形，圆柱两端为圆弧设计，便于称重传感器受到侧向力时自动复位。通过设计圆弧直径的大小，可以调节称重传感器自动复位的能力。通常来讲，大圆弧的弹性体抗侧向力的能力要比小圆弧的弹性体优越。其安装方便、动态响应好，量程

范围比较大。但是该类型的称重传感器在安装后是否能够保持垂直受力、以及在使用中发生了称重点偏移的情况下，其计量精度会受到影响。

所以，设计者应综合考虑整车式动态汽车衡的使用温度环境、汽车的载货情况、动态汽车衡的限位设计、秤台的重量等，来合理地选择称重传感器的结构形式。

3.4 其他影响因素

3.4.1 货车的载重量与型式检验之间的关系

整车式及模组整车式动态汽车衡在高速公路上使用时一般都选用100t的最大称量，按照GB/T 21296.1-2020和T/CWIAS0006.2-2024的型式检验要求，“参考车辆的选择应尽可能覆盖相应动态汽车衡的称量范围”。所以，需要在动态汽车衡的空车称量点、1/2最大称量和接近最大称量的三个称量点对整车式动态汽车衡的称量准确度进行测试。而按照GB 1589-2016《汽车挂车、列车轴荷及外形尺寸》强制性国家标准表4的规定，五轴车的最大限值是43t、六轴车的最大限值是49t；表3的规定是三轴组最大限值是14t，二轴组最大限值是18t。对于整车式动态汽车衡而言，进行型式试验时，更应该关注1/2最大称量点，即接近50t的称量时的称量性能，因为这才是整车式动态汽车衡的常用称量范围。而对于模组整车式动态汽车衡而言，由于其模组结构的特殊性，则更应该关注单个独立模组的最大称量相和结构尺寸与三轴组在载货汽车中分解的重量及三轴组的尺寸等之间的相互关系。所以，合理地选择衡器的最大称量和处理好与称重传感器之间的兼容性，是技术设计人员应该关注的要点。

3.4.2 非匀速称量中的速度改变

非匀速称量即是在改变车辆运行速度状态下的称量，是刹车还是加速全靠司机根据汽车与秤台的位置、驾驶车型与载货量并依据自己的驾驶行为控制，从这个特点上讲，动态汽车衡是各类自动衡器中比较特殊的一类衡器。而非自动衡器的定义是：在称量过程中需要操作者干预，以决定称量结果是否可接受的衡器。由此可以看出应对动态汽车衡的运行速度进行严格控制，在管理上采取一定的措施，如：设置限速20km/h的限速牌，使汽车驶上汽车衡时只能“轻微刹车”或者“轻微加速”，使载货汽车在刹车或加速过程中引起的动能变化

最小，技术和管理相结合方可保证整车式动态汽车衡或模组整车式动态汽车衡的计量精度。

4 结语

整车式动态汽车衡在高速公路上使用是具有中国特色的一类电子衡器，交通管理部门为此做出了很大的努力，它为了解决轴重式、弯板式、平板模块式、石英式、窄条式等结构型式的动态汽车衡在防止S形转弯、压线行驶、跳秤等作弊行为方面的不足而提供了一种有效的测试方法。而模组整车式动态汽车衡的出现，笔者认为是一种技术创新和技术革命，它结构合理、运输方便、安装容易、调校简单，再能够配合使用现场的管理做出一些合理的规定，则一定会大有前途。

参考文献

- [1] T/CWIAS 0006.2-2024《动态公路车辆自动衡器 第8部分：模组整车式》。
- [2] GB/T 21296.1-2020《动态公路车辆自动衡器 第1部分：通用技术规范》。
- [3] GB/T 21296.2-2020《动态公路车辆自动衡器 第2部分：整车式》。
- [4] T/CWIAS 0002-2023《动静两用电子汽车衡（整车式）》。
- [5] GB 1589-2016《汽车挂车、列车轴荷及外形尺寸》。
- [6] 王建军，刘小勇. 基于提高公路自动衡器精准性的分析与探讨. 中国计量. 2023年10期。
- [7] 陈增典，韩莉洁，吝小龙，李建军. 动态车辆轴重计量模式实验分析探讨. 称重技术论文集. 2022年。

作者简介

范韶辰（1961—），男，1982年10月毕业于山东工学院（现山东大学）机械系，本科学士学位。同年入职济南衡器厂（现山东金钟科技集团股份有限公司），从事称重传感器、衡器技术研究、管理工作40余年。现为全国衡器标准化技术委员会委员兼秘书长，中国衡器协会团体标准技术委员会秘书长，GB/T 21296.1-2020《动态公路车辆自动衡器 第1部分：通用技术规范》国标起草人之一，在有关杂志上发表论文多篇。