

# 提高轴重式动态汽车衡准确度研究

山东科技大学机电学院 邓铁六  
山东省交通厅公路局 张波  
山东省计量科学研究院 鲁新光

**【摘要】** 对于承载器是长方形秤台的轴重式动态衡，发现称重不准确的原因是：称轴重时，秤台长方向挠曲振动及秤台翘动严重干扰称重。改进试验：承载器采用两个长方形小秤台各下置3只称重传感器，并以橡胶板对秤台振动进行强阻尼，结果：动态称重准确度明显提高，接近2级，但仍存在秤台翘动及橡胶板摩擦力过大影响静态称重等问题。进一步改进：设计制造承载器为两个三角形小秤台的动态衡，并从外部用水平弹簧拉住秤台，使橡胶板摩擦力适当不影响静态称重。预期效果，车速10km/h以下达到2级。计划2011年4月完成试验。

**【关键词】** 称重技术；两体式三角形动态衡；振弦式称重技术；计重收费

## 1 引言

我国高速公路为遏制车辆超载超限运输，普遍采用动态汽车称重系统进行计重收费，取得良好效果。轴重式动态汽车衡（简称动态衡）是该系统的核心，汽车通过时，称量各轴重累加求出车辆总重量。作者于2004年担任技术负责人完成山东省交通厅项目，研发成功承载器为长方形秤台配4只称重传感器的第一代产品，由山东交润交通科技有限公司生产，山东、四川使用300余套，为实现公路车辆计重收费，做出一定成绩，获山东省科技进步二等奖。调试维修中发现：（1）过车轴时，秤台长方向挠曲振动强烈干扰称重；（2）4只称重传感器支承秤台为静不定结构，不稳定，常使一只传感器悬空，过车时秤台翘动干扰称重，同时秤台和轴重冲击悬空传感器，每天数千次使其准确度降低。为弄清问题，课题组从理论上研究该动态衡“动态称重的物理模型”，给出动态称重瞬时值分布的极差，指出欲提高动态衡准确度，应加大阻尼、减小秤台挠曲振幅，并适当提高固有频率避免发生共振。随后，设计制造了承载器为两个长方形小秤台各下置3只称重传感器的“分体式动态汽车衡”，经计量测试80%的称重数据误差 $<1\%$ ，性能接近2级动态衡，明显优于第一代产品。“分体式动态汽车衡”获国家发明专利，论文《动态车辆称重物理模型与提高动态称重准确度研究》发表于《计量学报》<sup>[1]</sup>。课题组总结时发现：将承载器由一个长方形秤台改为两个长方形小秤台有画蛇添足之误，因为若去掉多余两角，改为两个三角形小秤台、三角外伸在其下安装称重传感器，则完全不需要辅助支撑，而且能消除过车轴引起的秤台翘动；其次，作者考虑到：在三角形三边秤台和边框之间放入吸振橡胶板，从外部加水平弹簧拉住秤台，给胶板以适当压力（足以防

尘), 则有可能既不影响静态称重准确度, 动态称重时又能提供一定阻尼, 且安装调试十分方便。“两体式三角形动态汽车衡”申请国家专利, 已获受理。2011年4月有可能完成样机试验。本文侧重从理论上进行分析总结, 结论是: 必须从改进承载器结构入手, 才有可能从根本上解决轴重式动态汽车衡称不准问题。

## 2 承载器为长方形秤台下置4只称重传感器的轴重式动态衡称不准的原因

第一代产品, 实际上是将静态汽车称重大地磅缩短到0.8m左右, 同时提高采样频率而形成。对复杂的动态称重这种简单化处理, 自然效果不会太好。

### 2.1 第一代产品存在的主要问题

理论轴称重曲线见图1。

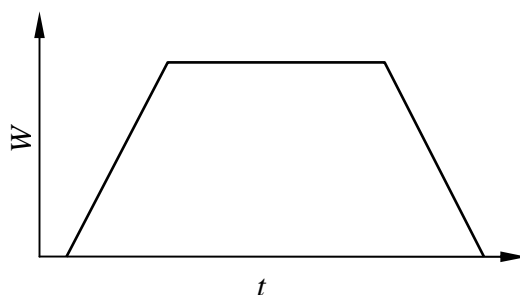


图1 理论的轴称重曲线

研究发现, 存在4种“振动”干扰称重:

第一种, 钢板产生频率较高的机械“震动”(频率几十到200Hz)。若称重传感器对它响应, 则在轴称重曲线上叠加着振动干扰<sup>[2]</sup>, 见图2。

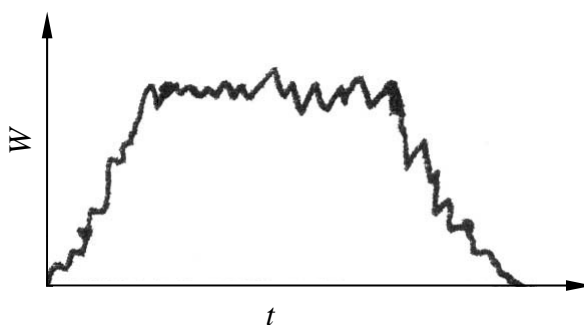


图2 有振动干扰的轴称重曲线

第二种, 车辆自身的振动: 轴质量与减震弹簧的组合振动。频率很低, 甚至低于1Hz。车辆快速驶过不平路面时, 振动强烈对称重影响很大; 但低速匀速驶过平整路面时, 振幅小, 影响小。因此国家计量检定规程JJG907-2006附录C, 对称重区引道的平直水平光滑做了严格的强制性规定, 以减小这种振动干扰。

第三种，秤台长方向挠曲变形振动：由于秤台长 $>3\text{m}$ ，宽  $0.8\text{m}$ ，重车（轴重  $10\sim 30\text{t}$ ）通过时，秤台长方向产生挠曲变形形成振动，振幅（即挠度）可达  $4\text{mm}$ 。这种振动频率很低，不能用低通滤波消除。它对动态称重准确度影响很大，特别是车速进入某一范围时发生强烈共振，因此它是导致动态称重不准确的主要原因。

第四种，秤台翘动“振动”：由于 4 只称重传感器支承秤台为静不定结构，不稳定，秤台略有变形就会使某只称重传感器悬空。称轴重时，先由对角线两只和前面一只称重传感器称量，后转为另 3 只称重传感器称量，秤台的这种翘动不仅直接干扰轴称重，还引起秤台和轴重对悬空称重传感器冲击。特别是若位置在前面的称重传感器悬空，则称轴重时秤台翘动两次，依次冲击前后两只称重传感器，影响更大。每天过车冲击上千次，使悬空称重传感器的准确度较快下降，甚至使用不长时间就会误差过大使称重不准确。

## 2.2 对存在问题及解决办法进一步分析

对第一种机械振动干扰，可进行低通滤波，或采用对它不响应的称重传感器（例如液压转换式称重传感器）；对第二种振动，按国家检定规程严格修建称量区引道，并要求车辆限速匀速行驶，方能减轻其影响。目前高速公路管理部门执行严格限速和保持匀速迂到困难，车辆快速冲过秤台及加速“跳过”秤台已成为司机减重的一种手段，对计重收费工作不利；第三、第四种“振动”干扰，应该说是第一代轴重式动态衡存在的主要问题，作者在文[1]中对第三种挠曲振动作了详细分析研究，指出秤台挠曲等效于弹簧，秤台及轴质量等效于质量块，轴重量等效于阶跃载荷。车轴上秤台相当于阶跃载荷施加于弹性系统，必然引起过渡过程振动，在过渡过程中称重，受到质量块振动加速度产生的惯性力干扰，分散性必然很大，每次称重都不同，称不准。为借鉴，调查国际上动态汽车衡发展状况，发现从加拿大引进的德国派特采用两个弯板式小秤台作承载器；瑞士石英动态衡采用两只石英晶体传感器（相当于两个石英小秤台）；台湾某公司技术负责人告诉作者：承载器为长方形秤台的动态衡经台湾计量部门测试，没有性能很好的，他设计两个小秤台作承载器效果不错。可见国内外动向与作者 2007 年的改进方案不谋而合。因此作者认定：承载器采用两个小秤台各下置 3 只称重传感器是动态汽车衡发展方向之一，同时还要研究如何加阻尼消除共振，才有可能解决动态汽车衡称不准问题。[注：据 2010 年中国质量报杨蕾报导：全国计重收费动态衡普遍存在称不准问题，给计重收费工作带来很大麻烦和困扰。]

## 3 动态汽车称重系统改进试验

### 3.1 承载器为两个长方形小秤台各下置 3 只称重传感器强阻尼动态汽车衡

#### 3.1.1 称重系统图

以这一动态衡为核心的动态汽车称重系统见图 3

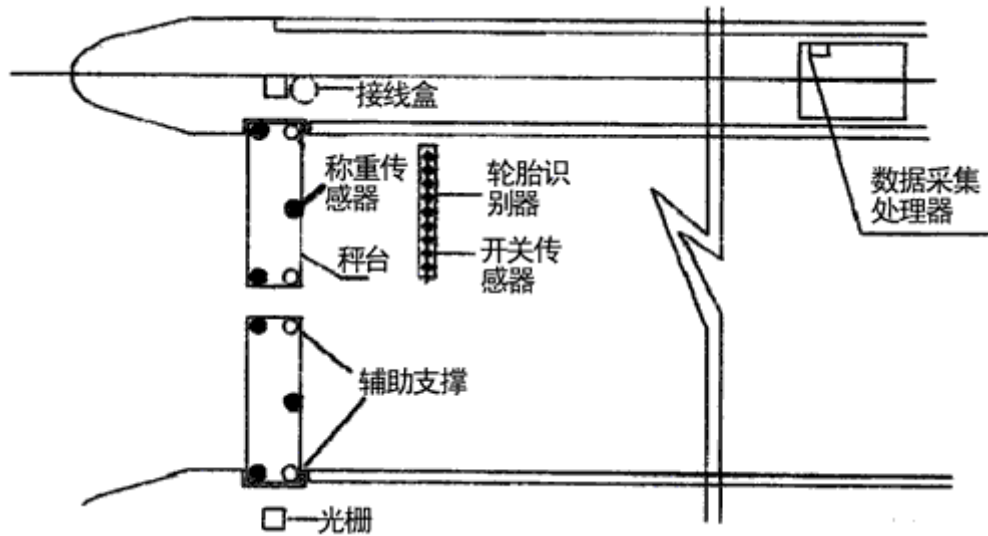


图 3 动态汽车称重系统

### 3.1.2 “分体式动态汽车衡”

针对现存问题进行改进，设计“分体式动态汽车衡”，要点如下：

1) 以两个 1500×500×130mm 长方形小秤台取代 3200×800×200 长方形秤台（简称长方形大秤台）。由于小秤台采用 20mm 厚钢板焊接而成，强度和刚度远大于长方形大秤台，又只承受轴重的一半，因此称轴重时长方向挠度（即振幅）降低 5 倍以上，固有频率也有较大提高。

2) 在秤台与边框之间，放入耐老化橡胶板吸振，用弹簧给胶板施加稳定正压力，使阻尼作用强而稳定，基本不受气候冷热影响。

3) 每个小秤台下置 3 只称重传感器，车辆从两只称重传感器那边上秤台。为使车轮下秤台时秤台翘动较弱，加了橡胶板辅助支撑，胶板最大压缩量为 1.5mm。

4) 采用邓氏振弦传感技术称重。所用传感器为液压转换式振弦称重传感器，这种称重传感器由带活塞的油缸和振弦式压力传感器构成。秤台及其承重作用于活塞，活塞将重力转换为油脂压力，再由振弦式压力传感器将压力转换为频率信号（调频信号）输出。这种液压转换式振弦称重传感器对秤台机械震动基本不响应，只需加简单的抗脉冲干扰数字滤波，采样频率 400Hz，即可再现各传感器的称重曲线。这种振弦称重传感器还有良好的抗电磁干扰性能，不怕潮湿，寿命长达 10 年以上，长期稳定性好。

为了获得称重传感器频率，采用邓氏双线圈恒流型钢弦激发电路（专利），由频率计算称重采用振弦传感器精确数学模型，见式（1）<sup>[3][4]</sup>：

$$W = A(f^2 - f_0^2) + B(f - f_0) \quad (1)$$

式中：A、B 为传感器常数，由标定数据最小二乘法求得（有专用软件）， $f$  为称重  $W$  对应的频率， $f_0$  为  $W=0$  时的频率，称为初频。

该数学模型是本文第一作者于 1981 年研制矿压遥测仪时提出，实践证明有三个优点：第一，拟合准确，可显著提高振弦传感器准确度。依靠它已使振弦称重传感器准确度达到 0.1%FS 左右，完全满足公路计重收费动态衡要求（动态准确度 5 级：首检误差  $\pm 2.5\%$ ）。第二，可置零去皮。将秤台重量对应传感器频率输入式 (1) 作为  $f_0$ ，即将秤台重（皮重）置零，则此后称轴重（货重）准确。第三，对于经过充分老化已稳定的称重传感器，A、B 在  $-20^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$  范围可看作常数，秤台置零后称重即准确，不需另加硬件、软件进行温度修正。

采用这种振弦称重技术，仪表部分（厂家称为控制器），总重仅 4kg，远低于其他产品（例如派特控制器重 45kg，重量大 10 倍），不仅成本低，在一定程度上说明该技术具有先进性。

### 3.1.3 效果及评价

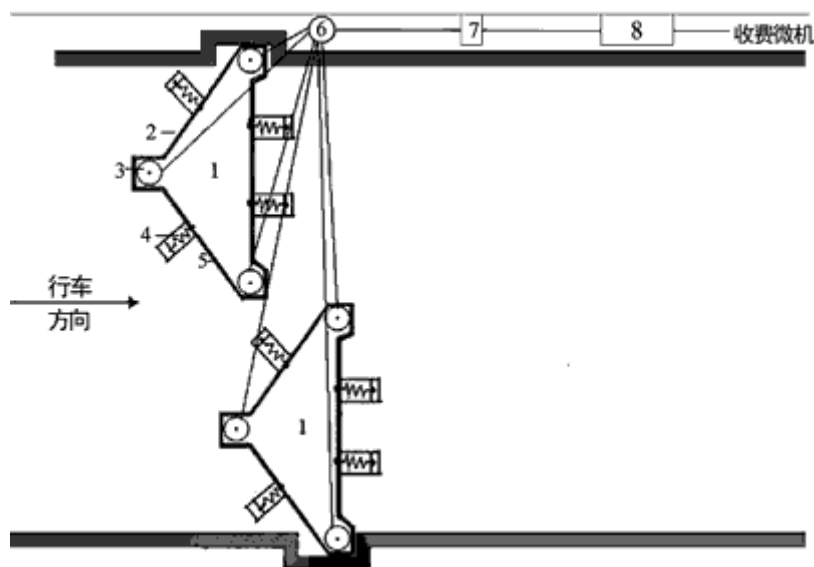
该动态汽车称重系统样机经山东省计量科学研究院用标准载重车测试，获国家计量器具型式批准证书：动态准确度 5 级（首检误差  $\pm 2.5\%$  以内），实际称重数据 80% 首检误差  $\pm 1\%$ ，接近 2 级标准；称重平均值误差  $\leq 0.13\%$ ，表明系统误差很小。

“分体式动态汽车衡”获国家发明专利（专利号：ZL200710014267.6）。

2008 年，该称重系统通过山东省交通厅组织专家会议鉴定，评为：“国际先进水平”。

## 3.2 两体式三角形动态汽车衡

### 3.2.1 动态衡图，见图 4



1-承载器（两个三角形秤台）；2-边框；3-称重传感器；4-水平弹簧；  
5-吸振橡胶板；6-接线盒；7-主电缆；8-控制器

图 4 两体式三角形动态汽车衡

### 3.2.2 设计要点

针对“分体式动态汽车衡”的不足进行设计：

1) 去掉长方形小秤台多余两只角形成三角形秤台，将三角外伸，其下安装称重传感器，3只传感器中心连线与秤台三边接近重合。车轴通过承载器不会引起秤台翘动，车轮上秤台即进入准确称重区（指车轮重心进入3只传感器中心连线形成的三角形时称重准确），有利于提高轴称重的准确度。

2) 用安装在秤台边框外部的4只水平弹簧从三面拉住秤台（稳定秤台），调整弹簧拉力，使置于秤台和边框间的橡胶板受力适当（足以防尘），但不影响静态称重。称轴重，秤台受到轴重冲击时，弹簧、橡胶板系统有较好缓冲和阻尼作用。

3) 两个三角形小秤台错位安装，便于准确识别进车、倒车和测量车速、加速度。除此之外，当司机让汽车突然加速“跳过”前面秤台，车辆称重不会减轻。

### 3.2.3 预期效果

预计两体式三角形动态汽车衡为核心的动态车辆称重系统应具有稳定性好，动态汽车称重振动干扰小，在车速 $\leq 10\text{km/h}$ 的情况下，动态准确度可达到2级（首检误差 $\pm 1\%$ ），系统车辆分离、动态称重、车型识别、车速加速度测量、倒车识别等功能齐全，而成本在同类产品中最低。2011年4月份可完成样机试验。

## 参考文献

1. 张波，鲁新光，邓铁六等. 动态车辆称重物理模型与提高动态称重准确度研究[J]. 计量学报，2009，30（5）：426-430。

2. 黄素莲等. 机动车重量动态监测软件设计[J]. 数据采集与处理，1994，9（2）：138-142。

3. 崔玉亮，邓铁六，于凤. 谐振式传感器理论及测试技术[M]. 北京：煤炭工业出版社，1997，70-75。

4. 白泰礼，邓铁六等. 振弦式传感器的精确数学模型及其应用[J]. 岩石力学与工程学报，2005，24（增2）：5965-5969。

## 作者简介

邓铁六，1935-，男，汉族，湖南永州人，山东科技大学教授，武汉大学物理研究生毕业，主要从事测试计量技术及仪器专业科研和教学。