

关于 ETC 计重收费动态汽车衡用 称重传感器选型的探讨

王小岗¹, 付海亮², 陈增典²

(1. 中航电测仪器股份有限公司, 陕西, 汉中 723007;

2. 陕西四维科技有限公司, 陕西, 宝鸡 721000)

【摘要】本文对 ETC 计重收费动态汽车衡称重的整个过程进行了描述, 分析了传感器在整个过程的受力情况, 对如何选用柱式和桥式传感器做了介绍, 为动态汽车衡设计和传感器选型提供一些参考。

【关键词】柱式 桥式 动态 频率

随着交通运输业务的发展, 高速公路计重收费的快速发展, 公路部门需加大设备建设的投资以及人员的投入, 这高昂的成本就成了头疼的问题。为了减少收费人员的数量, 加快车辆通过收费门的速度, ETC 业务应运而生, 现在小车 ETC 计重收费系统已成熟且全面推广, 但大型货车 ETC 计重收费系统才刚刚起步。



图 1 电子汽车衡结构组成图

对于大型货车 ETC 系统, 其关键技术是计重, 而计重的关键设备为动态汽车衡。动态汽车衡是从静态汽车衡发展而来, 主要使用的传感器以柱式传感器与桥式传感器为主。

对于动态汽车衡，有人认为采用柱式传感器响应频率高，称重精度高；有人认为采用桥式传感器精度稳定且便于安装。关于柱式传感器与桥式传感器的优劣问题一直争论不休。那么，如何选用柱式传感器与桥式传感器呢，本文将针对该问题重点进行分析介绍。

一、 动态汽车衡称重过程受力分析

汽车行驶上动态汽车衡（以下简称秤台）时，因汽车前轮的惯性冲力将秤台向前推去，当秤台运动到前限位器时，限位将产生反推力，又将秤台向后推去。当称重运动到后限位器时产生反推力，以及汽车的驱动力，又将秤台加速向前推去。在汽车完全行驶到秤台上面前，秤台将持续加速振荡，形成加速摆动现象，如下图 2。

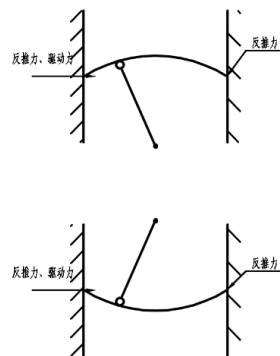


图 2 秤台摆动图

当汽车完全行驶到秤台上面时，通过其他地方产生的驱动力逐渐消失，秤台的前后振荡频率速度将不再加速。当汽车加速或减速时，秤台振荡频率也会加速减速。总之，在整个汽车上秤台前与上秤台过程中，秤台会形成一个中、低频率前后振荡。

汽车的重量及其他推力振动等产生的力都由秤台传递给传感器，由传感器将这些力的信息准确快速的传递给仪表（电脑）进行数据处理。

理，最终通过称重仪表显示。秤台受力分析如下：

表 1 秤台受力分析表

力的种类	秤台与后限位器接触			秤台与限位器脱离			秤台与前限位器接触			频率
	是否受力	受力大小	受力方向	是否受力	受力大小	受力方向	是否受力	受力大小	受力方向	
汽车驱动力	√	大	水平	√	大	水平	√	小		低频率
前限位器的推力								大	水平	高频率
								小	上下	
后限位器的推力	√	大	水平							高频率
		中	上下							
汽车的振动	√	小	水平	√	小	水平	√			低频率
		中	上下		中	上下				
发动机的振动	√			√	小	水平	√			高频率
					小	上下				
其他推力	√	小	水平	√			√			低频率
汽车的重量	√			√			√			
秤台的重量	√			√			√			

二、传感器采样频率方面分析

衡器用传感器一般有两种类型：柱式传感器和桥式传感器。柱式传感器受力分析如下，见图 3。

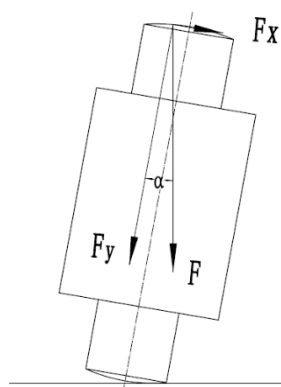


图 3 柱式传感器受力图

1) 当秤台与前限位器接触时，传感器受到轴向力，

$$F = F_y \times \cos \alpha^\circ + F_x \times \sin \alpha^\circ$$

2) 当秤台与前限位器不接触时,

$$F = F_y \times \cos \alpha^\circ \text{ 到 } F = F_y \times \cos 0^\circ \text{ 之间变化}$$

如果考虑汽车驱动力等因素时, 传感器的信号只在主信号

$F = F_y \times \cos \alpha^\circ$ 中加波 (中、高频), 具体信号如下:

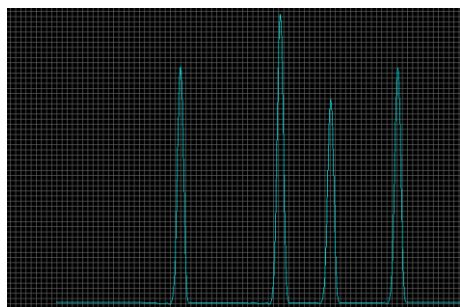


图 4 正常振动波形图

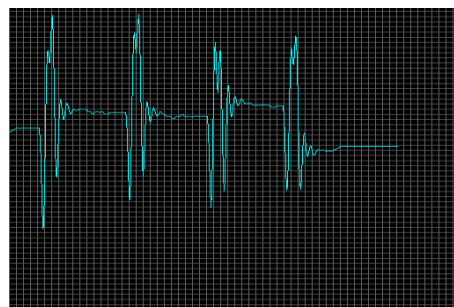


图 5 加发动机的振动波形图



图 6 加汽车的振动波形图

从这些力来分析, 汽车的速度、驱动力、刹车等水平力造成秤台左右摆动, 并接触限位器, 产生反推力。因速度驱动力有大有小, 有快有慢, 造成反推力大小是没有规律的, 因此处理数据时, 只取没有撞击时的数据。这样车辆的振动, 发动机的振动等反向有规律的波动。我们取大约不小于 3 个摆动, 就能得到有效理想的数据, 经过处理就能得到相应精度。

下面我们计算秤台上的采样波动时间: 秤台长度一般单节 6 米, 共 3 节, 长度为 18 米。现在公路上主要行驶的货车为半拖挂车。

前轮到后轮大约 15 米， $18 \text{ 米} - 15 \text{ 米} = 3 \text{ 米}$ 。

秤台的车速为 20 公里/小时， $3 \text{ 米} / 20 \text{ 公里/小时} = 0.54 \text{ 秒}$ 。

我们取小于 3 个摆动循环，采集时间占 1 个循环的 $2/3$ ，则

$0.54 / 3 * (2/3) = 0.12 \text{ 秒}$ ，即每个循环最长采集时间为 0.12 秒。

每 1 个波形，需取 10 个数（前摆 5 个，后摆 5 个），则每条采样时间为： $0.012 \text{ 秒} (83\text{Hz})$ 。因此，传感器的固有频率大致在 $83 \sim 100\text{Hz}$ ，我们就可以得到有效数据。

为了提高衡器精度，现在的衡器采集频率一般在 1000Hz ，即每秒中采集 1000 个数据。在衡器上，传感器的采样频率大致为柱式固有频率 $> 10000\text{Hz}$ ；桥式固有频率 $> 1000\text{Hz}$ 。

单纯看两种传感器的固有频率，确实是柱式传感器的固有频率高于桥式传感器，这是不争的事实。然而，衡器是由秤体、传感器和仪表组成的，衡器的响应速度才是决定使用性能的最终因素。衡器的响应速度主要由秤体的响应速度、仪表的响应速度、传感器的响应速度共同决定。

随着电子技术的飞速发展，制造高分辨率、高响应速度的仪表已经不是难事，但是秤体的响应速度提高确实不易，目前各生产厂家的秤体结构、使用材料大同小异，根据资料显示，秤体的固有频率通常在 $3 \sim 5\text{Hz}$ ，且无法进一步提高，因此，从采样频率来说，两种传感器均能满足需求。

三、传感器安装方面分析

柱式传感器与桥式传感器的优缺点对比如下：

1. 柱式传感器

优点：结构紧凑，体积小，固有频率高，动态响应快。

缺点：抗侧向和偏载能力较差，对加载点变化敏感，安装要求高，调整四角等操作较为繁琐，传感器不易固定易旋转，加载频率或重量过大，容易导致传感器开裂。

原因分析：不倒翁转动产生的原因，当地基水平，柱式传感器垂直时，无论怎么摆动也不会旋转；但当不水平时，就会存在偏转，转动。如图 8 所示：



图 7 柱式传感器安装图

当前后秤台摆动时，秤台也有可能产生旋转摆动，带动传感器旋转摆动，这就是传感器产生旋转的原因。传感器的电缆线就缠在传感器上，随着次数的增多，电缆线就有可能拽断，衡器产生故障。

在安装衡器时，我们不可能将传感器绝对的紧紧地与秤台接触，肯定会存在一定的间隙。同时，在设计衡器支点时，我们最想让支点靠边，减少翘板现象。但秤台有厚度，在车的冲击力等作用下，在秤台上的冲击力以及支点会产生转矩，这样就有一定的翘板现象。当翘板力瞬间消失后，秤台产生向下的冲击力，间隙越大，冲击力越大。

对于柱式传感器，由上、下压头、传感器以及秤台、地基安装板组成，中间没有任何柔性。当几个重力加速度的冲击力下来，这样的集中冲击力，很有可能将传感器从中间冲裂。

2. 桥式传感器

优点：对加载点变化不敏感，抗偏载性能好，固有线性好，安装方便，传感器固定不旋转，制造成本低。

缺点：体积大，重量大，搬运笨重。

桥式传感器是通过钢球与秤台连接，旋转摆动时，只有钢球转动，不会使传感器旋转。同时，对于桥式结构传感器，其受力变化的扰度有数量级的变化，在相同的动能冲击下，冲击力也有数量级的减少，因此几乎没有桥式传感器会冲击断裂的现象发生。

四、总结

从以上分析，我们可得出如下结论：在 20 公里/小时的动态衡器中，在采集速度方面，使用桥式和柱式传感器没有本质区别，都能正常使用；在抗冲击力方面，桥式优于柱式传感器；在安装条件方面，桥式传感器明显比柱式简单；在动态衡器应用中，客户可根据现场条件和自身情况，选用桥式或柱式传感器。