

大吨位汽车衡设计与检测方法研究

济南金钟电子衡器股份有限公司 沈立人

【摘要】 随着我国运输业的迅速发展的需求,随着高等级公路通车路段的日益加长,公路运输的比重逐渐。运输车辆的大型化成为当前发展趋势,而与其相配套的大型汽车衡就成为计量方面的主力军。这类汽车衡应如何设计,如何对它们进行检测,已成为目前我们应面对的问题。本文将就此问题谈一点个人的经验和设想。同时,也想就此机会为下一步修订《固定式电子秤》国家标准,广泛征求对此问题的建议。

【关键词】 大型 汽车衡 设计 检测

一、目前现状

1. 汽车衡的日趋大型化

在 GB1589—2004《道路车辆外廓尺寸、轴载及质量限值》国家标准中,规定最大允许总质量最大限值为 49 吨,而实际上目前公路上已经出现了最大总质量为 200 吨的车辆。这样带来了许多后遗症,如公路的频频翻修,使高速公路不能高速行驶,桥涵的不断塌陷。为了称量这些超载车辆,衡器的最大秤量已从 80 吨扩大到 180 吨,有的地方已提出 200 吨的制作要求了。

我们感到欣慰的是,2007 年底山西省出台了禁止 55 吨以上车辆在高速公路行驶的规定。而不是,单单靠计重收费的方法,变相进行增加高速公路的通行费。从而打破了车辆载荷不断恶性增加的怪圈。

2. 汽车衡设计的随意性

在八十年代末,有人曾经提出对电子汽车衡的承载器设计规范化,也同机械地中衡图纸一样,由中国衡器协会统一修订一套标准图纸。但是由于当时刚刚进入市场化,几家主要生产企业考虑到技术的扩散问题,没有支持这种设想。结果因为后来钢材价格的持续上升,和在市场竞争的压力下,各个企业八仙过海各显其能,拼命压缩制造成本,甚至有的企业直接根据使用单位的称量特点,设计出承载器重量极轻的产品。根本就谈不上刚度是几百分之几的问题了。

二、汽车衡的设计

对于一台汽车衡来讲,只要汽车的载重量不大于衡器的最大秤量值,就应允许其上衡称量。随着运输业的发展需求,大吨位的汽车越来越多,特别是单轴承载量很大的车型。这样,设计时应选择集中载荷量值较大的车型进行验算,同时选择承载器的型材规格及结构形式。下面特举 100 t 汽

车衡几种受载情况进行说明。

结构特点：承载器尺寸为 $18\text{m} \times 3.4\text{m}$ ，采用 8 只称重传感器，三段秤台，最大跨距为 6m。

① 牵引汽车

载重量：65t

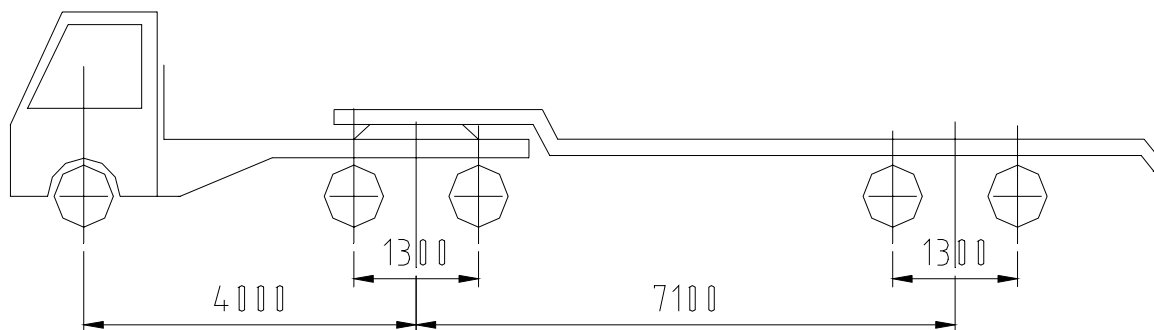
自重：20t

牵引车重：14.5t

轴距：前中距 4000mm 中后距 7100mm 轴距 1300mm

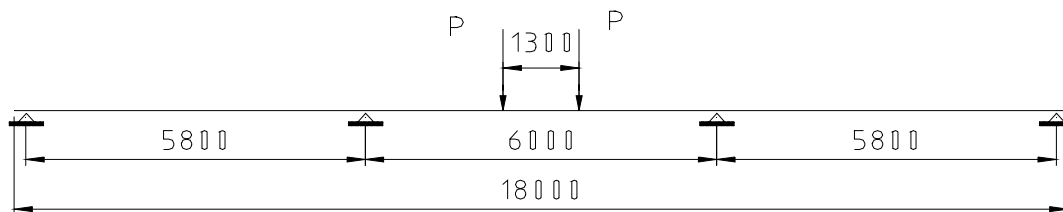
轮胎数量：26 只

轴荷分配：前轴 11t、中排两轴各为 19.5t、后排两轴各为 25t



按后排两轴分配，每轴荷重为 25t。考虑到一般车辆在一定速度下开到承载器上，可能会有一定的超载量。我们在计算时加上加上 130%的冲击载荷系数。

$$P = 25\text{t} \times 130\% = 32.5\text{t}$$



刚度计算：

当承重台的结构惯性矩 J 为 210504cm^4 时，当后排两轴停留在一块承重台中部时，其变形量为：

$$f_{\max} = \frac{Pal^2}{24EJ} (3 - 4\alpha^2)$$

其中： P ——轴载荷；

a ——加载点距支撑点距离；

l ——两支撑点间距；

$$\alpha = \frac{a}{l} = \frac{235\text{cm}}{600\text{cm}} = 0.39;$$

E ——弹性模量；

J ——截面轴惯性矩；

$$f_{\max} = \frac{Pal^2}{24EJ} (3 - 4\alpha^2) = \frac{32.5\text{t} \times 235\text{cm} \times (600\text{cm})^2}{24 \times 2.0 \times 10^6 \text{kg/cm}^2 \times 210504\text{cm}^4} (3 - 4 \times 0.39^2) = 0.65\text{cm}$$

$$\text{刚度为: } \frac{f_{\max}}{l} = \frac{0.65\text{cm}}{600\text{cm}} = \frac{1}{923}$$

当后排两轴停留在一块承重台中部时，安全系数 $n=2$ ，截面模量 W 为 7425cm^3 ，屈服极限 $\sigma_s = 2350\text{kg/cm}^2$ 。

$$\text{弯矩 } M = Pa = 32.5\text{t} \times 235\text{cm} = 7637500\text{kg} \cdot \text{cm}$$

强度为：

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{7637500\text{kg} \cdot \text{cm}}{7425\text{cm}^3} = 1029\text{kg/cm}^2 < [\sigma] = \frac{\sigma_s}{n} = \frac{2350\text{kg/cm}^2}{2} = 1175\text{kg/cm}^2$$

能够满足要求。

② 自卸汽车

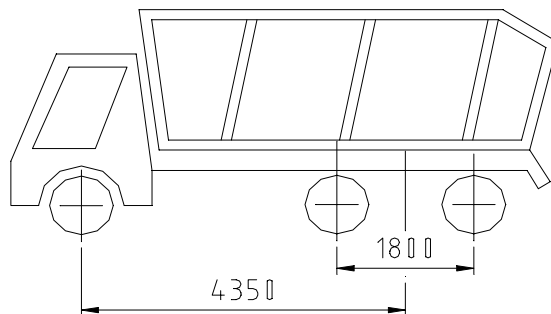
载重量：62 t

自重：38 t

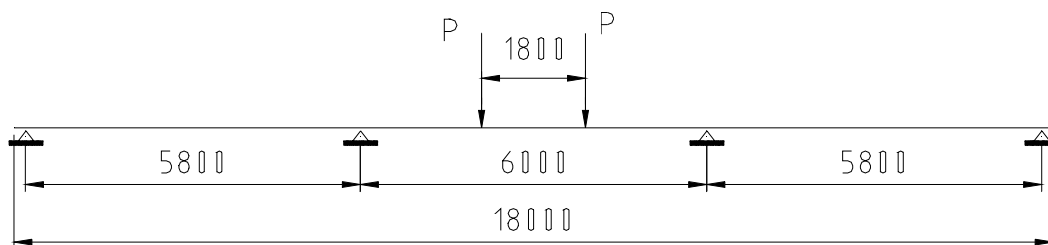
轴距：4350mm + 1800mm

轮胎数：10 只

轴荷分配：前轴 16.4 t 中后轴各 41.8 t



$$P = 41.8\text{t} \times 130\% = 54.34\text{t}$$



刚度计算:

当承重台的结构惯性矩 J 为 210504cm^4 时, 当中后轴停留在某一块承重台中部时, 其变形量为:

$$f_{\max} = \frac{Pal^2}{24EJ} (3 - 4\alpha^2)$$

其中: P —— 轴载荷;

a —— 加载点距支撑点距离;

l —— 两支撑点间距;

$$\alpha = \frac{a}{l} = \frac{210\text{cm}}{600\text{cm}} = 0.35;$$

E —— 弹性模量;

J —— 截面轴惯性矩;

$$f_{\max} = \frac{Pal^2}{24EJ} (3 - 4\alpha^2) = \frac{54.34\text{t} \times 210\text{cm} \times (600\text{cm})^2}{24 \times 2.0 \times 10^6 \text{kg/cm}^2 \times 210504\text{cm}^4} (3 - 4 \times 0.35^2) = 1.02\text{cm}$$

刚度为:

$$\frac{f_{\max}}{l} = \frac{1.02\text{cm}}{600\text{cm}} = \frac{1}{588}$$

强度计算:

当后排两轴停留在某一块承重台中部时, 安全系数 $n=2$, 截面模量 W 为 7425cm^3 , 屈服极限 $\sigma_s=2350\text{kg/cm}^2$ 。

弯矩

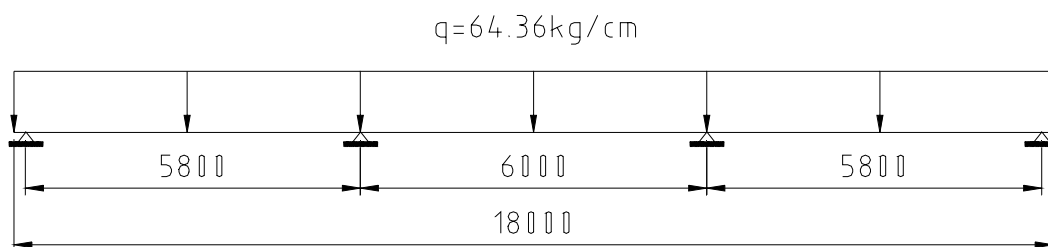
$$M = Pa = 56.98\text{t} \times 210\text{cm} = 11965800\text{kg} \cdot \text{cm}$$

强度为:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{11965800\text{kg} \cdot \text{cm}}{7425\text{cm}^3} = 1611\text{kg/cm}^2 > [\sigma] = \frac{\sigma_s}{n} = \frac{2350\text{kg/cm}^2}{2} = 1175\text{kg/cm}^2$$

由此可见, 如果此类车辆频繁上衡称量, 承载器的安全就比较难控制了。

③ 均布载荷



刚度计算:

当将最大秤量 100 t 砝码均布放置在 18m 长, 3.4m 宽, 自重为 15.84 t 的三段承重台上时, 单

位长度上平均载荷 $q=64.36\text{kg/cm}$, 承重台最大变形量为: $f_{\max} = \frac{5ql^4}{384EJ}$

其中: q ——局部单位长度上的平均载荷;

l ——单节承载器两支撑点间距;

E ——弹性模量

J ——截面轴惯性矩

$$f_{\max} = \frac{5ql^4}{384EJ} = \frac{5 \times 64.36\text{kg/cm} \times (600\text{cm})^4}{384 \times 2.0 \times 10^6 \text{kg/cm}^2 \times 210504\text{cm}^4} = 0.26\text{cm}$$

刚度为:

$$\frac{f_{\max}}{l} = \frac{0.26\text{cm}}{600\text{cm}} = \frac{1}{2326}$$

强度计算:

截面模量 W 为 7425cm^3 , 安全系数 $n=2$, 屈服极限 $\sigma_s=2350\text{kg/cm}^2$ 。

弯矩

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{8} = \frac{64.36\text{kg/cm} \times (600\text{cm})^2}{8} = 2896200\text{kg.cm}$$

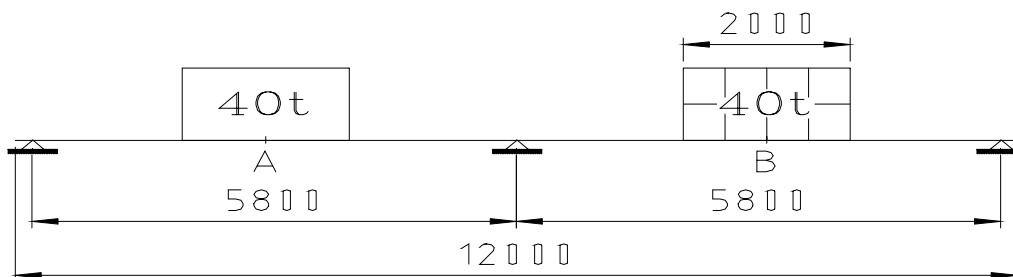
强度为:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{2896200\text{kg.cm}}{7425\text{cm}^3} = 390\text{kg/cm}^2 < [\sigma] = \frac{\sigma_s}{n} = \frac{2350\text{kg/cm}^2}{2} = 1175\text{kg/cm}^2$$

能够满足要求。

④ 局部集中静载测试

每个承重板中部放置 40 t 砝码, 分四排, 每排五个。



刚度计算:

当将最大秤量 40 t 砝码集中放置在 2m 长, 3.4m 宽的承载器中部, 三段承载器自重为 15.84 t

时, 局部单位长度上载荷 $q=208.8\text{kg/cm}$, 变形量为 $f_{\max} = \frac{qcl^3}{384EJ}(8-4\gamma^2+\gamma^3)$

其中: q ——局部单位长度上的平均载荷;

c ——局部单位长度

l ——单节承载器两支撑点间距;

$$\gamma = \frac{c}{l} = \frac{200\text{cm}}{580\text{cm}} = 0.34$$

E ——弹性模量

J ——截面轴惯性矩

$$f_{\max} = \frac{208.8\text{kg/cm} \times 200\text{cm} \times (580\text{cm})^3}{384 \times 2 \times 10^6 \text{kg/cm}^2 \times 210504\text{cm}^4} (8 - 4 \times 0.34^2 + 0.34^3) = 0.38\text{cm}$$

刚度为:
$$\frac{0.38\text{cm}}{580\text{cm}} = \frac{1}{1534}$$

强度计算:

截面模量 W 为 7425cm^3 , 安全系数 $n=2$, 屈服极限 $\sigma_s=2350\text{kg/cm}^2$ 。

弯矩
$$M_{\max} = \frac{qcl}{8}(2-\gamma) = \frac{208.8\text{kg/cm} \times 200\text{cm} \times 580\text{cm}}{8} (2-0.34) = 5025816\text{kg.cm}$$

强度为:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{5025816\text{kg.cm}}{7425\text{cm}^3} = 677\text{kg/cm}^2 < [\sigma] = \frac{\sigma_s}{n} = \frac{2350\text{kg/cm}^2}{2} = 1175\text{kg/cm}^2$$

能够满足要求。

⑤ 汇总列表

项 目 承载方式	变 形 量	刚 度
牵引汽车	0.65 cm	1/923
自卸汽车	1.02 cm	1/588
100 吨砝码均布	0.26cm	1/2326
40 吨砝码局部集中静载	0.38cm	1/1534

⑥ 小结:

- a. 从以上四种加载方式所得出结果来看，以自卸汽车的加载方式对承载器的影响最大。因为它是将 100t 的绝大部分载荷都作用在两根轴上了，且是以动载荷的方式作用在承载器上的；
- b. 从以上四种加载方式所得出结果来看，以砝码均布的加载方式对承载器的影响最小。它不但是以静载荷的方式作用于承载器上，而且将砝码均匀的分布于承载器的整个面积上；
- c. 第四种加载方式是最接近实际汽车在承载器上称量的情况。

三、汽车衡的检测

1. 传统的方法

(1) 偏载检测

在国际建议 R76《非自动衡器》和 JJG555-96《非自动秤通用检定规程》中，对于汽车衡偏载检测都是按照“承载器支承点的数量多少，来确定施加的砝码数量；且砝码要施加在每个支承点的上方位置，注意不要在放置区域形成不必要的叠放，如果使用单一砝码，可以放在中心；如果使用多个小砝码，要均匀地分布在区域”。

这种方法对于调试汽车衡的偏载来讲是能达到目的的。对于机械式衡器来讲是保证杠杆传力比的一致性，对于电子式衡器来讲是保证称重传感器输出电压信号的一致性。

(2) 称量检测

传统的称量测试方法就是：从空载开始，逐步施加测试载荷至最大秤量，然后以相反次序逐级卸下测试载荷至零点。这里没有讲，施加测试载荷的位置？如果此台汽车衡是由一个承载器组成的，这里就没有什么可讨论的必要了；如果此台汽车衡是由三个承载器所组成的，这些测试载荷如何施加？就带来问题了。是在这三个承载器上均布摆放呢？还是集中摆放在一个承载器上呢？

2. 建议采用的方法

(1) 按称量滚动载荷的方法

我在《偏载测试在电子衡器中的应用——学习 R76 国际建议笔记之一》文章之中，对于现行的

偏载测试方法进行质疑。认为在条件适合的时候，应采用滚动载荷对汽车衡的偏载进行测试。如同目前轨道衡的偏载测试方法一样。

其方法是：在承载器起始端、中间和末端的不同位置，施加不大于 0.8 倍最大秤量的，相当于常用最大集中滚动测量载荷。

采用滚动载荷对汽车衡的偏载进行测试，能达到一举两得的目的。一是能使称重传感器的输出电压信号大小的一致，虽然必须两只称重传感器一起调试；二是能模拟出承载器在实际使用状态下的刚度情况。

(2) 按集中施加载荷方法检测称量

① 按传统方法检测称量

将上述最大秤量 100t 砝码均布放置在 18m 长，3.4m 宽，自重为 15.84t 的三段承重台上时，单位长度上平均载荷 $q=64.36\text{kg/cm}$ ，承重台最大变形量为 0.26cm。

② 按集中加载方法检测称量

同上，将最大秤量 100 t 砝码放置在其中 6m 的一段承载器上时，单位长度平均载荷 $q=167\text{kg/cm}$ ，

最大变形量为：

$$f_{\max} = \frac{5ql^4}{384EJ} = \frac{5 \times 167\text{kg/cm} \times (600\text{cm})^4}{384 \times 2.0 \times 10^6 \text{kg/cm}^2 \times 210504\text{cm}^4} = 0.67\text{cm}$$

③ 小结

这样，由三段承载器组成的汽车衡，将最大秤量的载荷，均布施加到其中一段的面积上，其效果与两轴分别以 32 t 集中作用于承载器中部接近。

问题是，如果要依次将最大秤量的载荷分别施加到三段承载器上，其工作量将增加两倍。

(3) 计算加测试的方法

① 如果以第四种局部集中加载的方式，再加以 1.3 倍的冲击载荷的量值计算，是否接近第一种加载方式呢？

刚度计算：

当将最大秤量 50t 砝码（相当于两根轴的载荷）集中放置在 2m 长，3.4m 宽的承载器中部，再按 1.3 倍的冲击载荷，三段承载器自重为 15.84t 时，局部单位长度上载荷：

$$q = \frac{50\text{t} \times 1.3}{200\text{cm}} + \frac{15.84\text{t}}{1800\text{cm}} = 325\text{kg/cm} + 8.8\text{kg/cm} = 333.8\text{kg/cm}$$

挠度为：

$$f_{\max} = \frac{qcl^3}{384EJ} (8 - 4\gamma^2 + \gamma^3)$$

其中： q ——局部单位长度上的平均载荷；

c ——局部单位长度

l ——单节承载器两支撑点间距；

$$\gamma = \frac{c}{l} = \frac{200\text{cm}}{580\text{cm}} = 0.34$$

E ——弹性模量

J ——截面轴惯性矩

$$f_{\max} = \frac{333.8\text{kg/cm} \times 200\text{cm} \times (580\text{cm})^3}{384 \times 2 \times 10^6 \text{kg/cm}^2 \times 210504\text{cm}^4} (8 - 4 \times 0.34^2 + 0.34^3) = 0.6\text{cm}$$

承重台最大变形量为 0.6cm。

刚度为：

$$\frac{0.6\text{cm}}{580\text{cm}} = \frac{1}{960}$$

强度计算：

截面模量 W 为 7425cm^3 ，安全系数 $n=2$ ，屈服极限 $\sigma_s=2350\text{kg/cm}^2$ 。

弯矩

$$M_{\max} = \frac{qcl}{8} (2 - \gamma) = \frac{333.8\text{kg/cm} \times 200\text{cm} \times 580\text{cm}}{8} (2 - 0.34) = 8034566\text{kg.cm}$$

强度为：

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{8034566\text{kg.cm}}{7425\text{cm}^3} = 1082\text{kg/cm}^2 < [\sigma] = \frac{\sigma_s}{n} = \frac{2350\text{kg/cm}^2}{2} = 1175\text{kg/cm}^2$$

② 如果要想达到 100 吨砝码均布在承载器上的效果，且刚度只要 1/600，承载器的截面轴惯性矩应为多少呢？

变形量计算：

$$\frac{x}{600\text{cm}} = \frac{1}{600}, \quad x = \frac{600\text{cm}}{600} = 1\text{cm}$$

截面轴惯性矩计算：

$$f_{\max} = \frac{5ql^4}{384EJ} = \frac{5 \times 64.36\text{kg/cm} \times (600\text{cm})^4}{384 \times 2.0 \times 10^6 \text{kg/cm}^2 \times 210504\text{cm}^4} = 1\text{cm}$$

则：

$$J = \frac{5ql^4}{384Ex} = \frac{5 \times 64.36\text{kg/cm} \times (600\text{cm})^4}{384 \times 2 \times 10^6 \text{kg/cm}^2 \times 1\text{cm}} = 54304\text{cm}^4$$

③ 如果要想模拟 100 吨砝码均布在承载器上的效果，所局部集中加载的砝码量是多少呢？

$$f_{\max} = \frac{qcl^3}{384EJ} (8 - 4\gamma^2 + \gamma^3)$$

则：

$$q = \frac{384EJ}{cl^3 (8 - 4\gamma^2 + \gamma^3)} = \frac{384 \times 2 \times 10^6 \text{kg/cm}^2 \times 54304\text{cm}^4}{200\text{cm} \times (600\text{cm})^3 \times (8 - 4 \times 0.34^2 + 0.34^3)} = 129\text{kg/cm}$$

减去承载器自重单位长度上的平均载荷量值，在长度 2m、宽度 3.4m 的区域内砝码量为：

$$W = qc = 129\text{kg/cm} \times 200\text{cm} = 24000\text{kg}$$

④ 小结:

a. 这种方法只使用了 50%最大秤量的砝码, 就得到了称量 100 吨载重汽车所看到的结果。而且, 其检测时的严酷度远远高于使用 100%最大秤量砝码的效果。

b. 如果要想达到 100 吨砝码均布在承载器上的效果, 且刚度只要 1/600, 承载器的截面轴惯性矩只有原截面轴惯性矩的近 1/4, 可以少用不少钢材。

c. 如果要想模拟 100 吨砝码均布在承载器上的效果, 所局部集中加载的砝码量只要有 24 吨。

d. 如果要想达到以上各种效果, 这台长度为 18 米、宽度为 3.4 米的汽车衡承载器只需选用八根 25 号的槽钢和一块厚 10 毫米的钢板即可。加上其他的辅助材料, 整台产品的重量也不会超过 6 吨, 不到原设计重量的一半。当然一个承载器的刚度不是单纯靠增加重量来提高的, 材料使用的合理, 也是可以在一定程度上提高其刚度指标的。

四、结 论

1. 汽车衡承载器的设计工作不能只是考虑如何对付检测, 而是要考虑到所有能上衡称量的车辆中, 集中载荷量值最大的那种车辆的称量形式。虽然按照这种设计可能所消耗的钢材, 可能要多出一倍有余。但是对于产品的可靠性来讲, 其使用寿命可以大大提高。不但保证了用户的利益, 也保住了自己的市场。

2. 在多种偏载测试方法中, 对于汽车衡来讲, 采用滚动载荷进行偏载测试, 一方面能考核承载器的机械刚度性能; 另一方面又能测试出偏载误差的大小。在目前没有专用测试设备的情况下, 我们可以采用局部集中加载砝码的办法。

3. 为了考核承载器的设计质量, 对于多个承载器组成的汽车衡, 也可以考虑采用集中将最大秤量载荷, 施加于其中一段承载器上的方法, 从而了解其设计的刚度是否能够达到规定的量值。

4. 从我们多年的实践经验来看, 在我国称重指示器、称重传感器技术基本稳定的情况下, 在稳定的基础上安装的汽车衡, 只要承载器的刚度优于 1/1000 的前提下, 只要对整台汽车衡前半段的称量性能进行测试, 其全部性能指标还是能控制在允差范围之内。

参考文献

- (1) GB1589-2004《道路车辆外廓尺寸、轴载及质量限值》国家标准
- (2) 化学工业出版社《机械设计手册》第一分册上册
- (3) JJG555-96《非自动秤通用检定规程》
- (4) 沈立人 偏载测试在电子衡器中的应用——学习 R76 国际建议笔记之一
- (5) 沈立人 大型汽车衡检测方法探讨《衡器》2006 年 1 期