

边界条件对衡器性能影响问题的探讨

济南金钟电子衡器股份有限公司 沈立人, 李嘉

【摘 要】 随着衡器载重的增加, 在大型衡器使用过程中出现的一些问题。

【关键词】 汽车衡; 边界条件

一、存在的问题

在 GB1589-2004《道路车辆外廓尺寸、轴荷及质量限值》国家标准中, 明确规定车辆最大允许总质量的最大限值为 49 吨。但是随着市场运输需求不断的提高, 到目前为止, 已经有接近 200 吨质量的车辆, 随之能够称量此类车辆的衡器也呼之而出。这样本来一些只有二三十吨载荷的支撑点, 也必须承担近百吨的载荷。使得以往没有什么问题的结构, 也产生了不可思议的现象。

1、偏载误差比较大

按照 JJG539-97《数字指示秤》计量检定规程所规定的偏载性能检测方式, 对于六个以上承载点的衡器, 使用 $\text{Max}/n-1$ 的载荷依次对每个承载点进行调试时, 每个点的偏载误差在允许范围之内, 然而当使用大吨位短轴距汽车分别停于承载器不同位置上, 其误差明显增加较多。

2、卸载后衡器不能回复零点

当大吨位短轴距汽车称量结束离开承载器, 有一些衡器的示值不能较快回到零点, 其中固然有可能是称重传感器的恢复力矩比较小有关, 也有可能是承载器及其连接件的刚性达不到规定的指标。

3、重载时称量误差增大

一个大型汽车衡 (一般是指 100 吨以上), 当其承载器为三段式, 中间一段由四只称重传感器支承, 两端分别搭在中间段上。当 50 吨之内载荷的短轴距车辆分别停于中间和两端位置称量时, 秤量值基本没有差异。但是当 70 吨以上载荷车辆称量时, 在中间位置称量的量值明显大于两端位置称量值。而且, 轴载越是接近搭接处时, 称量误差越大。

二、边界条件的影响

为什么目前会出现以上的种种现象呢? 经过近几年的观察和试验, 认为主要是由忽视边界条件影响的原因所造成的。

弹性力学中, 它研究弹性物体在外力和其它外界因素作用下产生的变形和内力, 求解一个弹性力学问题, 就是设法确定弹性体中各点的位移、应变和应力共 15 个函数。从理论上讲, 只有 15 个

函数全部确定后，问题才算解决。对于力学问题的求解，我们根据 15 个方程来求解那是相当麻烦的，但是经过研究，若是得到给定符合一定条件的应力边界或是位移边界，会更有利于我们对问题的求解，所以，我们解题时就相应的可以根据实际情况来应用应力解法或是位移解法来设定变量。一般边界条件有三种形式，分为本质边界条件（狄里克雷边界条件）、自然边界条件（黎曼边界条件）、混合边界条件（柯西边界条件）。对于自然边界条件，一般在积分表达式中可自动得到满足；对于本质边界条件和混合边界条件，需按一定法则对总体有限元方程进行修正满足。

边界条件分别为位移边界条件和应力边界条件。比如，基础板太薄、基础高度差大、混凝土强度不足、混凝土充填不足、压头结构、结构刚度等都是属于位移边界条件影响；而承载器焊接变形、承载器连接处焊接变形等属于应力边界条件影响。

1、位移边界条件影响

以前常规产品 18m 的承载器是三节台板，自从 GB/T7723-2008 标准对承载器相对变形量的控制要求，由于称重传感器销售价格与钢材价格的悬殊，不少制造商改为四节台板予以应对。这样就单块台板来讲，其刚度是提高了，变形量缩小了。这种设计，从表面上看是一种优秀的设计，但是其疏忽了另一个方面的问题，即可靠性。当一个设备所采用的零部件越多，那么相对可靠性就会下降。这里同时增加了一对搭接结构、一对基础板、一对称重传感器，如果其中有一个部件没有被注意到，就有可能影响衡器的计量性能。

(1) 对于由多块台板组成的承载器之间的连接方法，也是设计者应该注意的问题。为什么一些产品在现场出现塌台问题，就是因为该生产单位在设计和制造过程中，没有重视承载器搭接头技术。

一类搭接头的形式，靠钢板先将承载器连接起来，将称重传感器支撑在钢板的中间。

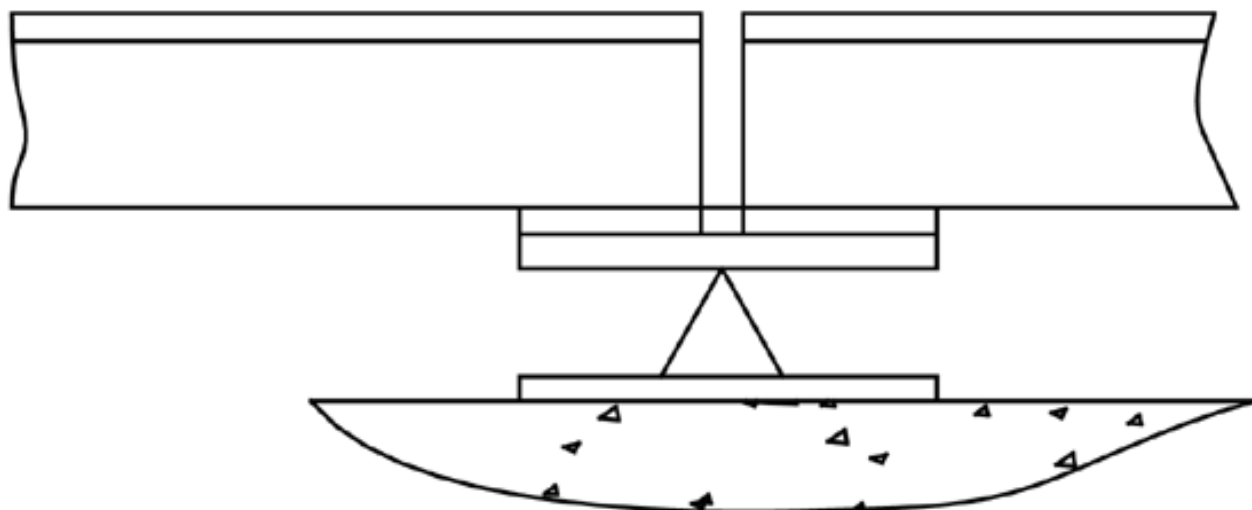


图 1 承载器搭接头示意图

一类搭接头的形式，是将主台板由称重传感器支撑起来，靠搭接头将副台板支撑住。目前有许

多结构采用这种方式。

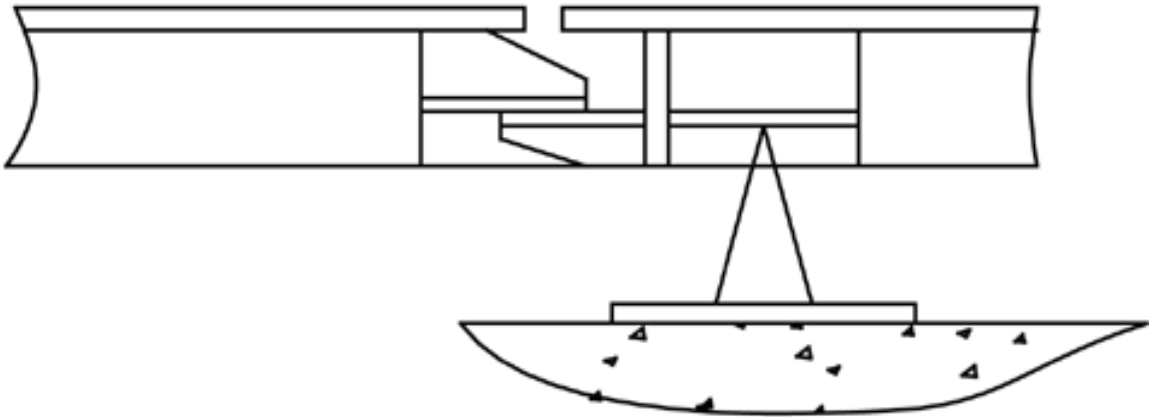


图 2 承载器搭接头示意图

这些结构的设计时，除了应注意各部位的焊接强度外，还应注意到与其相关联结构的强度。

在两块台板之间搭接头的数量，一般是采用两块。如果连接的位置超过了两处，就会出现超静定现象。超静定现象的表现形式，就是汽车衡在称量过程中，称量示值数据总是在不断变化，重复性很难保证。也就是说，由于衡器边界条件的不断改变，其初始零点也在不停的变化，而初始零点的改变就直接影响到衡器回零的问题。

(2) 基础板刚度不足或基础板底部混凝土充填不足等，也是产生位移边界条件影响的原因。当重载车辆的重载轴压到那个刚度差的基础板上时，此点的称量性能必然会产生较大误差。

(3) 称重传感器和压头的硬度不足时，一是会产生一定的位移变形，一是会产生永久变形。位移变形可能会影响的性能误差，而永久变形则是会影响称重传感器的恢复力矩，使衡器卸载后不能尽快回到零点。

(4) 结构刚度是主要指大型衡器承载器的刚度。对于使用砝码测试时的均布载荷来讲，可能 1/300 左右的承载器也能通过称量性能的检定。但是此类结构的承载器不能满足实际使用时的要求，在很多情况下会被车辆压塌。即使不被压塌，也会因为变形量较大影响到衡器的称量性能。

2、应力边界条件影响

我们衡器行业从生产机械衡器时起，就对铸件、焊接件、机加工件时产生的加工应力不是很重视，由于机械衡器主要是装配结构，对加工应力所造成的计量性能影响不是很明显。进入电子衡器时代后，大型衡器的承载器大都是焊接结构件，并开始采用型钢结构的大型衡器，这类衡器采用的是断续焊接工艺，焊接应力对承载器整体结构的影响比较小。但近年来 U 型梁结构的大型衡器承载器，由于采用连续焊接工艺，其焊接应力对承载器的影响就比较大，一些与之关联的部件（如搭接板、称重传感器垫板等）也由于应力所产生的结构变形，不但影响到产品的安装质量，而且直接影响到产品的计量性能。

三、承载器结构的设计

1、提高支撑部位的刚度和强度

承载器的刚度与强度要求，我们在 GB/T7723-2008《固定式电子衡器》国家标准中，已经对其有了明确的规定。而一些支撑部位的部件结构，如基础板、搭接板、称重传感器垫板等也不能忽视。从上述“当 70t 以上车辆称量时，在中间位置称量的量值明显大于两端位置称量。而且，轴载越是接近搭接处时，称量误差越大”的情况，可以基本上可以判定为是由于这些部件设计或安装不当造成的。

2、关于超静定问题影响

超静定是维持平衡所必需的约束之外，再增加一个或几个约束，也是一种边界条件。也正是 GB/T7723 的规定了刚度要求，一些企业为了确保承载器的变形量小于 1/800，将本来是三段的承载器改为四段，这样既保证了承载器的刚度要求，还减少了钢材的用量。但是，随之工程力学中的一个麻烦——超静定问题出现了。超静定在工程实践中是经常遇到的，本来汽车衡承载器就是一个超静定结构，我们在设计时是努力减少支撑点，以减少超静定对计量性能的影响，现在为了提高承载器的刚度，增加了承载器的支撑点，反而增加了边界条件的影响，更加会影响衡器的计量性能。

3、提高搭接板的强度

从上述两个示意图表示的结构，我们可以很清楚地看出，搭接板的设计应该注意到与承载器整体性问题。搭接板不能仅仅焊接在承载器的端部横梁上，一定要与承载器的纵梁和横梁结合为一体。

4、焊缝强度的影响

在纵梁与面板之间的焊缝方面，因为焊缝比较长，焊脚的高度可以不十分注意。但是焊缝的结构必须严格控制，因为焊接电流过大，焊件间隙过大、焊接速度过慢造成的焊穿、焊漏不应该出现；咬边（或称“咬肉”）也是不能出现，咬肉不但减弱了基本金属的有效面积，减弱了焊接接头强度，并且在咬边处形成应力集中，在承受载荷后有可能在咬边处产生裂缝。

5、用有限元法分析边界条件

有限元法最初被用来研究复杂的飞机结构中的应力，它是将弹性理论、计算机学和计算机软件有机地结合在一起的一种数值分析技术。目前，它在许多学科领域和实际工程问题中得到广泛的应用，因此，在工科院校和工业界受到普遍的重视。

由于单元可以被分割成各种形状和大小不同的尺寸，所以它能很好地适应复杂的几何形状、复杂的材料特性和复杂的边界条件，再加上有成熟的大型软件系统的支持，它可以成为对多支撑点承载器结构数值计算方法。

四、制造安装工艺

从上述几个问题我们都是强调产品结构方面的，而解决边界条件的影响加强工艺控制，也是一条重要的渠道。

1、焊接工艺

一般在焊接工艺的各种的教材中，对焊接装配的合理性、焊接应力及变形的产生原因、防止和减少焊接应力及变形的措施等都进行了介绍。一是，焊件材料线膨胀系数大的，焊后的焊缝纵向收缩量也大；焊件是在夹具固定的条件下焊接，其收缩量可减少 40~70%，但焊后将引起较大的焊接应力。断续焊缝的收缩也较连续焊缝小得多。二是，合理的焊接顺序是可减少变形和减少焊接应力的。三是，减少焊接应力及变形，应该从设计和工艺两个方面着手解决。

2、焊接结构残余应力及变形的消除和矫正方法

传统的方法有：整体高温回火法、机械矫正法、气体火焰矫正法、自然时效法、敲击时效法等。目前在机械行业通用的方法，主要是“振动时效法”，这是国家“七五”、“八五”期间的重点推广项目，已经在机械、化工、航天、冶金等行业广泛使用。

振动时效与传统的热时效和自然时效方法相比，具有节能高效、减少环境污染等诸多优点。相比热时效节能 95%，处理时间只需 20~30min，不占场地、便于携带。

振动时效可以全程对部件的时效情况进行观察，振前在线全程扫描、全程打印；振中监测时效效果；振后在线局部打印、单峰值局部扫描。

但是，振动时效的最大缺点是噪音比较大。

3、基础施工

如前所述，大型衡器基础的混凝土施工质量和基础板浇灌质量，也是引起边界条件问题的因素。一个稳定牢固的钢筋混凝土结构就是一台大型衡器的基础，所以要选择足够承载力的地耐力，足够强度的钢筋网络结构，优质的混凝土和严格的浇筑工艺。

五、结束语

我们在谈到大型衡器时，总是注意到“称重指示器”、“称重传感器”、“承载器”和“基础”四大部分，在很多情况下会忽略了一些所谓的“边界条件”，本文根据多年的工作经历和近年来大型衡器上发生的各种问题。所以在产品的设计、制造、安装和使用中，既要抓住西瓜，也不要放弃芝麻。

参考文献

刘九卿，电阻应变式称重传感器，中国衡器协会专业技术培训教材。