

关于小型桥式传感器的研究和分析

宁波柯力传感科技股份有限公司 姚玉明，周徐成

【摘要】 本文针对目前衡器市场上出现的小型桥式传感器，重点分析该类传感器在市场应用过程中的特性和出现的问题，并根据这些问题对常规桥式传感器和小型桥式传感器通过有限元 I-DEAS 进行有效的模拟仿真和详细比较，从而验证小型桥式传感器和常规桥式传感器之间在使用过程中出现的差异，进一步从实践和理论分析相结合的角度为传感器在安装过程中提出一些积极的应用意见和建议。

【关键词】 小型桥式传感器；有限元；模拟仿真；应力梯度；挠度

一、引言

目前国内对双剪梁型称重传感器的研究已经很多，参考文献1中讲述了弹性体的应变与外加载荷有较好的线性，弹性体的结构参数、载荷等各种因素对贴片区应变的影响。参考文献2中详细阐述了贴片区应力、应变对整个弹性体性能的影响。参考文献3中作者重点论述了双剪梁型称重传感器滞后误差产生的原因，提出减小或消除称重传感器的接触滞后误差的方法。可见，关于双剪梁式称重传感器的研究资料已经很多，各生产厂家也是不胜枚举，常规桥式传感器已经普及化，通过精细化控制达到最高的性价比是市场竞争之重点。在这种情况下，桥式传感器的竞争就是成本和服务的竞争，最终衡器市场上出现了不断缩小体积尺寸的小型桥式传感器。本文重点介绍目前市场上各种小型桥式传感器的使用情况，并对存在的问题进行深入分析，给出一些应用或选型的参考性建议。

二、小型桥式传感器在市场上的应用情况

目前衡器市场上小型桥式传感器大致分几种：小型桥式传感器 A 采用一体式弹性体结构，螺杆从上部连接底板和弹性体；小型桥式传感器 B 采用一体式结构，螺杆从下部连接底板和弹性体。小型桥式传感器 C 采用铰支结构，通过螺杆从上部 and 支撑辊连接底板和弹性体。无论哪类小型桥式传感器都是为了降低成本而采取的弹性体小型化设计，去除了所谓的强度冗余结构，从而减小了产品体积，降低了钢材消耗成本。下面是相同量程的几种小型桥式传感器外形尺寸与常规桥式传感器外形尺寸的比较，见表 1。

表 1 小型桥式传感器和常规桥式传感器主要尺寸比较

种类	弹性体外形 (长×宽×高) (mm)	贴片孔距(mm)
常规桥式传感器	240×52×56	80
小型桥式传感器 A	160×76×52	70
小型桥式传感器 B	160×85×56	68
小型桥式传感器 C	190×52×48	75

目前上表中的小型桥式传感器生产厂家已有好几家,市场上使用小型桥式传感器的衡器厂家虽然不是很多,但也有一部分试用客户,根据这些客户收集的意见大致有几种情况:小型桥式传感器用在大量程(60t 以上)承载器(以下简称秤台)上会出现线性不佳;重车过磅后出现负数,不回零;秤台偏载误差和段差较大;四角误差也不好调整。下面以这些小型桥式传感器为例进行研究分析。

三、重车上秤发生挠度变化后,秤台及安装对传感器的影响

汽车衡秤台的刚度要求: $[f]=1/800, 1/1000, 1/1200$, 刚度太低会影响衡器的回零、蠕变性能表现不良,在这样的刚度下,秤台形变的倾角一般不会超过 1° 。因此,秤台在其刚度足够的情况下,肯定不会出现较大的弯曲变形问题,也不会引起钢球“爬坡”的现象。但是,当秤台刚度不足时就会出现传感器受力方向不垂直于传感器本身,如图 1 所示,当秤台刚度足够时,重车上秤时,其发生的弯曲变形可以忽略不计,力值 F 的方向近似为竖直向下(图 1 左);秤台刚度不足时,重车上秤后秤台发生较大的弯曲变形,其偏转角度为大约 5° (图 1 右)。

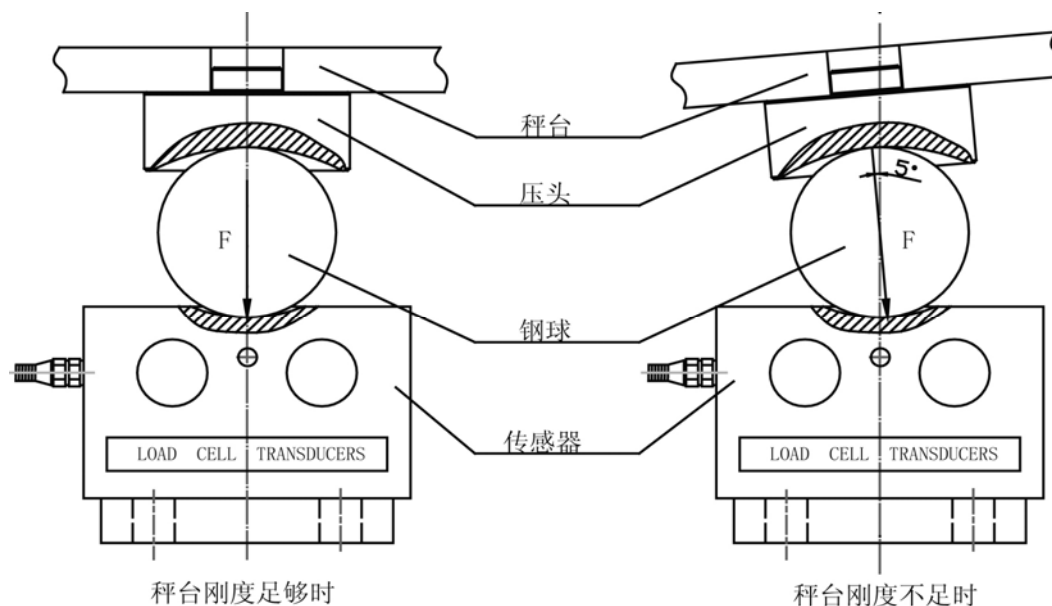


图 1 秤台刚度影响载荷方向

即使秤台刚度足够时，如果由于安装位置对位偏差较大也有可能造成载荷方向偏转，如图 2 所示：

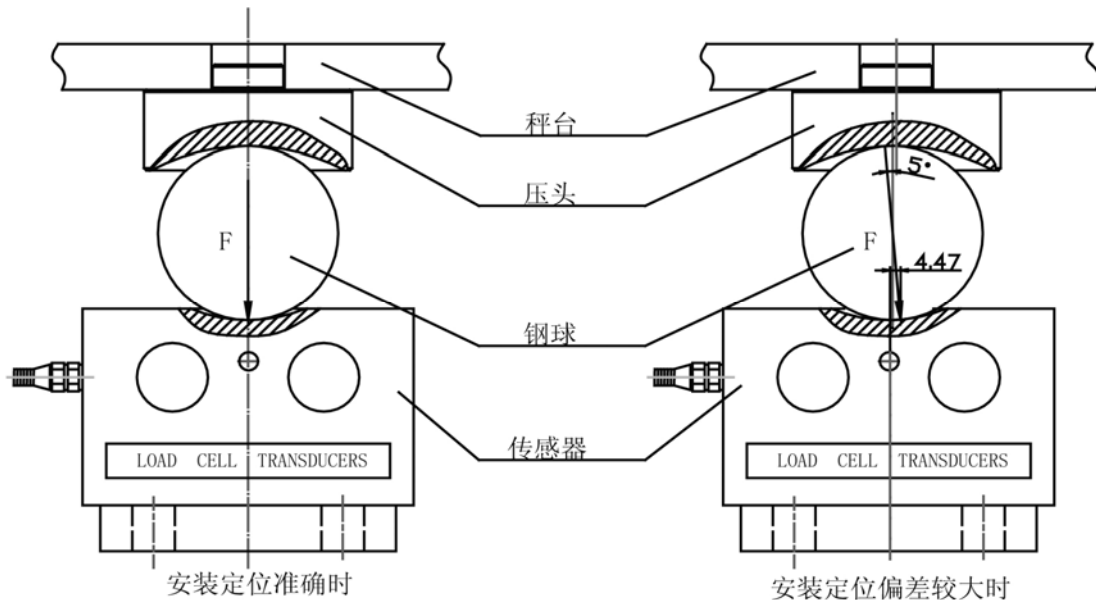


图 2 安装对位偏差影响载荷方向

图 2 左表示秤台在刚度足够的情况下而且安装对位准确时，载荷方向竖直向下，但是如果安装位置水平偏移了 4.47mm 时，钢球中心就不可能位于传感器球窝中心位置，此时传感器载荷方向也同样偏转 5°。因此，不管是秤台的刚度不足或者传感器安装位置对位偏移都有可能造成传感器载荷方向发生改变。

假设传感器受到的实际载荷为 F_1 ，则

根据合力和分力的关系式：
$$F_1 = F \cos(5^\circ) \quad (1)$$

实际误差：
$$F = F - F_1 \quad (2)$$

1、当秤台刚度不足时，重车下秤后，秤台不能完全马上复位，如图 1 右所示，秤台自重不能完全作用于传感器之上，因此，会出现下秤后的重量小于上秤前的重量，由于刚开始标定的重车上秤前的重量为 0，故重车下秤后，重量为负值，即出现了负零点不回零现象。

2、当安装位置偏移量较大时，初始位置时传感器受力就是分力 F_1 ，重车上秤后，钢球偏移方向的不同，其下秤后仪表示值可能为正也可能为负，也同样出现了不回零的情况。

四、用有限元 I-DEAS 对小型桥式传感器和常规桥式传感器进行分析比较

1、当载荷方向偏转 5°时，载荷对小型桥式传感器应变区域等效应力 (von-Mises) 的影响

本文选取外形尺寸为 160mm×85mm×56mm，中心距大约 68mm 的小型桥式传感器为例进行分析比较，为了简化模拟计算，模拟定义材料为理想材料，各接触面均为固定连接。单元划分为程序自由划分，为了节约计算时间并提高运算精度，仅将贴片区进行二次细化。这样最终得到的单元数为 46774，单元划分如图 3 所示：

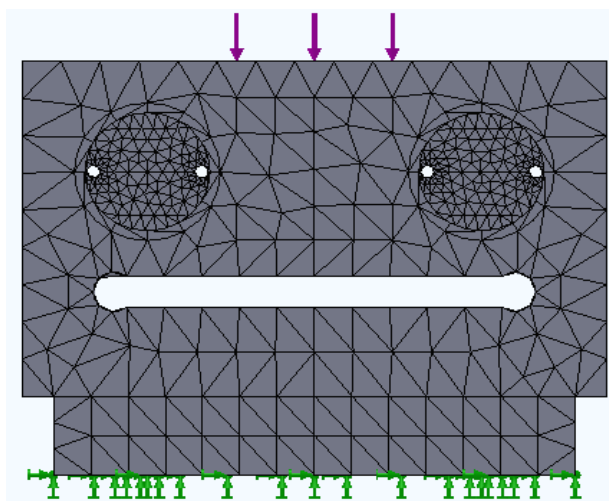


图3 小型桥式传感器网格划分

由于单节点受力过于集中，效果不易观察，因此假设整个弹性体球窝表面均布压力。

球冠面积公式：
$$S = 2\pi rh \tag{3}$$

式中： r ——球冠半径， h ——球冠的高

这里， $r = 61mm$ ， $h = 5mm$

由公式(3)可以得到： $S = 1915.4mm^2$

再假设传感器量程为 30t

故，均布压力： $P = 156.6MPa$

因此，球窝内施加的受力为 156.6MPa。

图4，图5分别表示载荷方向竖直向下和与竖直方向偏角为 5°的受力情况，在传感器底面完全固支状态下，通过 I-DEAS 对这两种情况下的传感器分别进行仿真模拟，其结果见图6，图7。

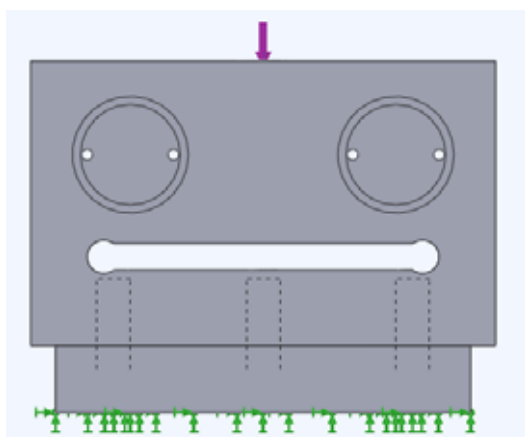


图4 载荷方向竖直向下的受力状态

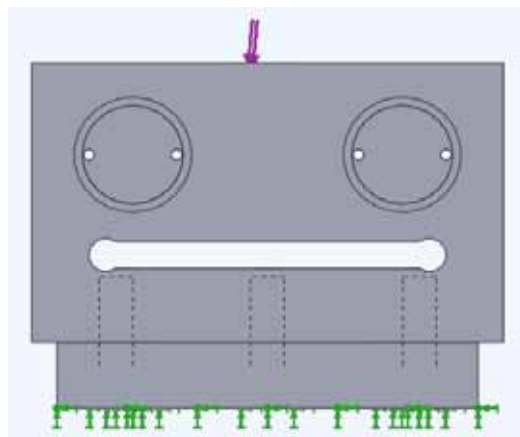


图5 载荷方向与竖直向下成 5° 夹角的受力状态

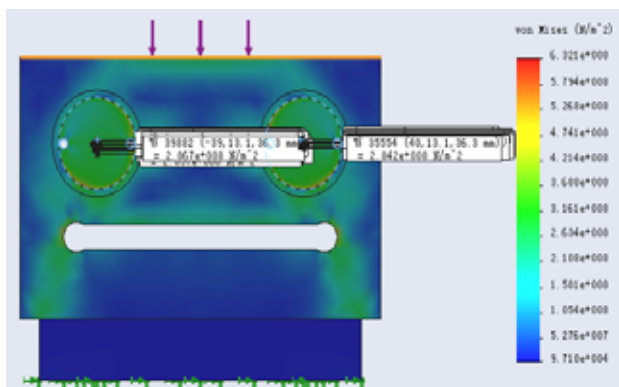


图6 载荷方向竖直向下的仿真结果

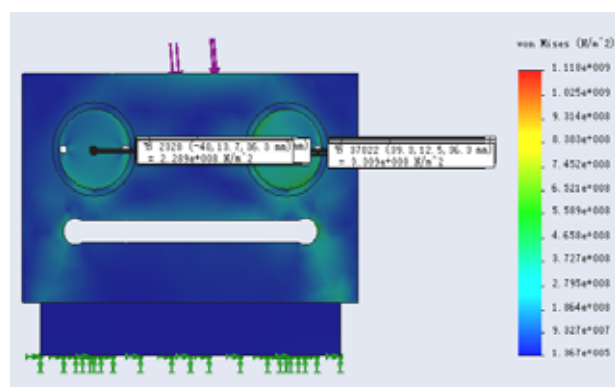


图7 载荷方向与竖直向下成5°夹角的仿真结果

模拟结果显示，当受力156.55MPa时，正常情况下最大应力为664.85MPa，而载荷方向偏转5°后，最大应力达到了767.64MPa，而贴片区内的应力变化见表2，选取10个节点应力并求取平均值。

表2 载荷方向偏转5°前后，贴片区应力值变化情况对比

序号	载荷方向竖直向下的仿真结果		载荷方向与竖直方向成5°夹角的仿真结果	
	左贴片孔应力值(MPa)	右贴片孔应力值(MPa)	左贴片孔应力值(MPa)	右贴片孔应力值(MPa)
1	290.26	291.41	343.17	275.79
2	282.5	290.42	336.01	278.44
3	288.35	283.45	335.79	280.89
4	287.04	295.97	338.09	288.33
5	285.47	287.08	317.72	284.66
6	290.18	287.92	331.01	270.33
7	293.79	289.16	329.24	296.5
8	297.49	295.4	331.78	287.47
9	310.1	290.5	324.07	281.69
10	301.39	280.82	327.81	295.74
均值	292.66	289.21	331.47	283.98

利用同样方法对常规桥式传感器进行仿真模拟（本文对仿真过程不再重复），模拟结果见表3。

表 3 载荷方向偏转 5° 前后, 贴片区应力值变化情况对比

序号	载荷方向竖直向下的仿真结果		载荷方向与竖直方向成 5° 夹角的仿真结果	
	左贴片孔应力值(MPa)	右贴片孔应力值(MPa)	左贴片孔应力值(MPa)	右贴片孔应力值(MPa)
1	293.23	294.86	307.13	272.54
2	291.01	298.23	308.17	274.99
3	291.31	289.07	311.58	272.53
4	288.1	291.55	303.08	277
5	287.66	296.44	306.92	281.75
6	289.14	297.98	310.60	277.6
7	289.36	297.51	310.26	278.22
8	293.01	293.85	311.23	279.34
9	295.52	287.5	308.07	280.54
10	294.76	297.74	312.87	281.59
均值	291.31	294.47	308.99	277.61

通过表 2、表 3 数据对比, 可以明显看出, 当载荷方向按图示偏转 5° 时, 载荷对小型桥式传感器左贴片孔的影响较大, 应力值增加 38.81MPa, 而对右贴片孔的影响较小, 仅减小 6.23MPa, 而且左右贴片孔应力值之和增加了 32.58MPa; 而对常规桥式传感器的应变区的影响, 左贴片孔应力增加 17.68MPa, 右贴片孔应力减小 16.86, 而左右贴片孔应力值之和仅增加了 0.82MPa。因此, 载荷方向偏转对小体积的小型桥式传感器的影响相对常规桥式传感器来说较为敏感, 而且应力梯度较大。其他类型结构的小型桥式传感器, 经理论分析, 具有同样的近似结果, 在此不再一一分析。

五、实际组秤验证分析

为了验证我们理论分析的可信度, 我们选取结构为四节台面 80t 的汽车衡一台, 分别准备上述小型桥式传感器和常规桥式传感器进行试验, 在相同秤台、相同载荷和调试条件下, 秤台满量程为 80t, 分度值设 10kg, 秤台两头的前后纵向、左右侧向限位距离调整在 5mm 以内, 调整传感器垂直安装使受力良好。利用测试车辆为 52t 左右钢材重车, 重车以不超过 5 公里/小时的速度沿同一个方向上秤。实际获得的数据记录比较如下:

1、选择小型桥式传感器 10 只, 按上述要求安装调试就位

用 52t 左右重车进行压秤, 称重仪表显示数据记录如下:

次数	前	中	后	最大段差
1	52540kg	52490kg	52440kg	100kg
2	52530kg	52450kg	52410kg	120kg
3	52530kg	52420kg	52400kg	130kg

2、选择常规桥式传感器 10 只，按上述要求安装调试就位

用 52t 左右重车进行压秤，称重仪表显示数据记录如下：

次数	前	中	后	最大段差
1	52720kg	52730kg	52700kg	30kg
2	52680kg	52730kg	52710kg	50kg
3	52670kg	52720kg	52700kg	50kg

上述实践验证的结论基本与理论分析的结论相吻合，在同样安装和调试条件下，同一称重车辆在前中后三处表现出的示值误差不同。因为试验车辆属于半挂车，钢材重量比较容易集中作用在其中一节台面上，在同样载荷导致秤台发生挠度的情况下，小型桥式传感器表现出的段差明显大于常规桥式传感器，由此基本可以证明我们理论分析的可信度。

六、总结

根据以上分析，尽管小型桥式传感器有一定的成本优势，但由于小型桥式传感器体积小，贴片孔间距较小，一旦秤台挠度过大或者安装位置对位偏差稍大时，都会造成传感器受力方向发生偏转。而且在相同的偏角下，小型桥式传感器的贴片区应力值变化要敏感于常规桥式传感器，从而带来比较大的误差。建议选择小型桥式传感器时，一定要考虑秤台本身的刚度条件适合性，如果用户不能判断秤台刚度是否满足时，最好通过组秤利用尽量接近满秤量的重车做实际验证。另外，对传感器的安装对位准确性也要比常规桥式传感器的安装更加仔细严格，同样也要考虑大量程秤台在重车上秤后，使秤台发生较大变形情况下的影响情况分析，而且需要日常及时将限位装置调整到合适的限位距离，防止日后车辆冲击导致秤台偏位后出现应用时不回零或不准确等问题。

总之，相比缩小体积尺寸的小型桥式传感器对汽车衡的秤台刚度和安装、限位等都提出了很高的要求，希望大家选择时尽量考虑这些实际因素，以避免实际称量的不准确或不回零等问题。

参考文献

1. 孟春玲，郑维智，林美红. 双剪梁型称重传感器的有限元分析. 机械设计与制造，2002。
2. 刘九卿. 双剪梁型称重传感器的理论计算. 传感器应用技术，1989(2)。
3. 杨伟亮，朱超甫. 双剪切梁式传感器滞后误差分析. 传感器世界，2006。
4. 曹立平. 中国衡器实用技术手册。

作者简介

姚玉明、男，大学本科学历，中国计量学院计测工程系力学与精密仪器专业，宁波柯力传感科技股份有限公司传感器总监。

通讯地址：宁波市江北投资创业园 C 区长兴路 199 号 邮编：315033