

汽车衡用称重传感器受力旋转现象分析

胡晓曼 王召锋 杨纪富

山东金钟科技集团股份有限公司

[摘要] 使用柱式称重传感器的电子汽车衡在频繁的重载称量过程中，往往会出现柱式称重传感器旋转导致电缆线缠绕的现象，给汽车衡的使用造成了一定的困扰。针对此问题，本文列举出目前常见的柱式传感器防旋转措施，简单分析其结构特点，并结合汽车衡的力学模型，依据曲面接触应力理论分析承载器对称重传感器的传力过程，把传感器的转动简化为单纯的绕定轴转动，就不难理解传感器的旋转问题。

[关键词] 汽车衡 称重传感器 旋转 曲面接触应力 绕定轴旋转

一、引言

电子汽车衡结构简单、称重精度较高，在高速公路、港口、冶金、矿山、工厂企业应用广泛，是在当今社会经济贸易计重控制中应用最为广泛的衡器之一。称重传感器是配置在承载器与地基基础间的重要元器件，起着力-电转换的作用，传感器的主要功能是以电信号的形式呈现货物的重量参数值。目前国内用于大型衡器上的称重传感器大致有：柱式称重传感器、桥式称重传感器、轴对称扭环型称重传感器、轮辐式称重传感器等。

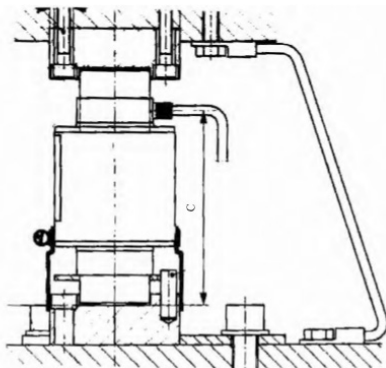


图 1.1 柱式称重传感器示意图

柱式称重传感器弹性体两端一般为经典的不倒翁结构，具有结构紧凑、信号稳定、抗过载能力强、响应频率高和量程范围广等优点，目前在汽车衡的使用中比较常见。但柱式称重传感器的抗侧向和偏载能力较差，在使用中还会出现一种不良情况，即在使用时会不断微量旋转，出现电缆线缠绕称重传感器现象，随着称重传感器旋转不断积累，甚至会将电缆线拉断。



图 1.2 汽车衡使用过程中旋转缠线现象

汽车衡在使用过程中曾发生过相关事故：拉紧的电缆线在强烈瞬间冲击力作用下直接将称重传感器拽倒，秤体倾斜，这给汽车衡的使用带来了巨大的安全隐患和经济损失。电缆线缠绕过紧，也会使输出信号不稳定，读数不稳，降低精度。另外，在汽车衡的使用过程中，由于称重传感器所在空间比较小且比较密闭，很难及时发现电缆线缠绕问题。即使发现问题，工作人员需用千斤顶将秤体全部顶起，将各缠绕电缆线的称重传感器一一恢复正常，浪费时间和精力，影响企业声誉。因此，柱式称重传感器对安装应用的要求的确要高一些，防旋转结构设计必不可少。

二、现有解决称重传感器旋转问题的方法列举

如图 2.1 所示，此种防旋转结构采用插入防旋转销的方式阻止称重传感器的旋转，传感器自身设计防旋转档环，这属于目前的常规防转结构。对于柱式称重传感器，限位距离有严格要求，一般前后行车方向上 3mm~5mm，左右宽度方向上 2mm~4mm，但受冬夏甚至早晚热胀冷缩的影响，用户若没有及时调整限位距离，承载器的限位距离甚至会超过 20mm，限位距离过大导致承载器摆幅很大，强大的瞬间冲击力很容易使防转销脱落失效^[1]。

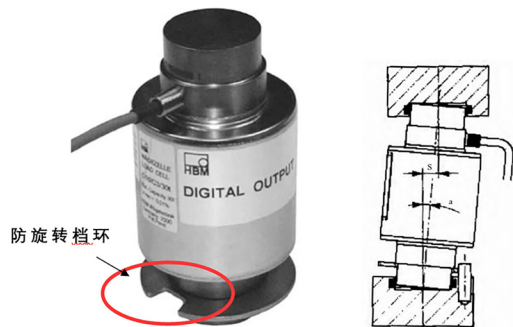


图 2.1 称重传感器防旋转结构一

山东金钟科技集团的柱式称重传感器的下压头与弹性体端头同时铣平面，安装方式如图 2.2 所示，安装后保证所铣平面与行车方向一致。此种防转结构加工简单，防转效果明显。图 2.3 所示为防旋转称重传感器的下压头，压头内插入定位销，定位销阻止称重传感器的旋转。螺栓固定档环，档环压

住压头，但在作用力比较大时，强大的瞬间作用力可能会使称重传感器带着下压头一起旋转。图 2.4 所示防转结构，传感器与底座采用多棱面接触，将旋转力在多个棱面分解，避免集中力过大，损伤称重传感器和底座。

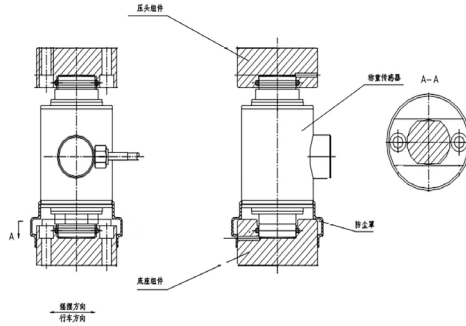


图 2.2 称重传感器防旋转结构二

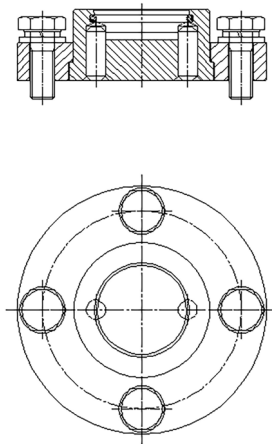


图 2.3 称重传感器防旋转结构三

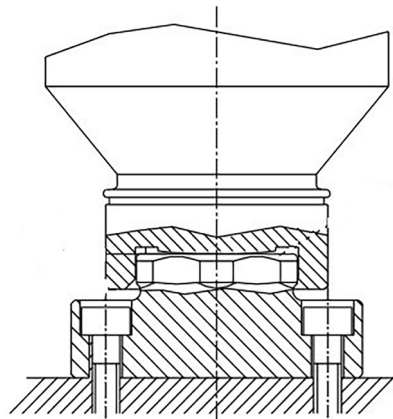


图 2.4 称重传感器防旋转结构四

三、称重传感器旋转原因分析

为什么电子汽车衡上安装的柱式称重传感器会产生旋转现象呢？柱式称重传感器在自动轨道衡上使用历史比较长了，而安装现场很少出现旋转现象。区别之处在于：自动轨道衡的承载器一般长度只有 3.7m~4m，其限位采用的是张拉式结构，使得承载器在纵向和横向基本不移动，同时保证不影响垂直力的作用^[2]。

而汽车衡的承载器长度比较大（一般 18m 左右），采用的限位装置是纵向、横向都允许承载器有一定的位移，这样称重传感器也可能随之晃动。承载器的晃动又是如何引起称重传感器旋转的呢？

3.1 基于接触压力理论分析

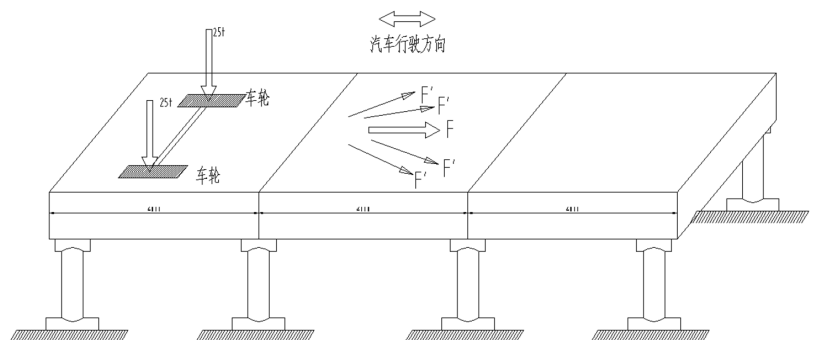


图 3.1 汽车衡称重示意图

汽车带速上秤对承载器产生瞬时冲击，包括纵向冲击和垂直向下冲击。在设计选型时，要充分考虑多种极端的情况，以最大 50t 轴载为例，以下是水平方向的冲击力计算方法。（参考《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60-2004））

冲击系数可以按下式计算：

当 $f < 1.5\text{Hz}$ 时， $\mu = 0.05$

当 $1.5\text{Hz} \leq f \leq 14\text{Hz}$ 时， $\mu = 0.176\ln f - 0.157$

当 $f > 14\text{Hz}$ 时， $\mu = 0.45$ ；

式中， f —结构基频 (Hz)。

$$\omega_{\text{秤体}} = \sqrt{\frac{48EI}{(M + \frac{17\rho l}{35})l^3}} \approx 8$$

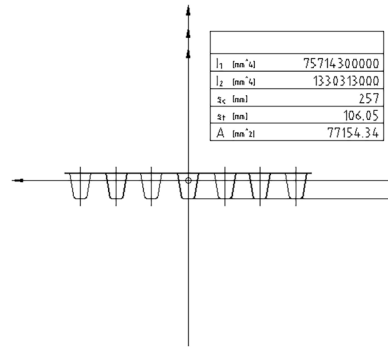
式中， E ——弹性模量，206000MPa

I ——秤体截面惯性， $75.71 \times 109\text{mm}^4$

M ——秤体质量，5t

l ——秤体长度，6m

ρ ——单位梁长质量， $5\text{t}/6\text{m}=0.83\text{t}/\text{m}$



通过对我公司不同秤体的结构基频计算， $f_n = \frac{8}{2\pi} = 1.27\text{Hz}$ ，数值都小于 2Hz，取最大值 2 代入冲击系数计算公式得：

$$\mu = 0.176\ln f - 0.157 \approx 0.1$$

考虑到实际应用，应适当放大冲击系数，取放大安全系数 1.1 得：

$$F_{\text{冲}} = \text{汽车载荷} \times \text{冲击系数} \times \text{放大系数} = 50\text{t} \times 0.1 \times 1.1 = 5.5\text{t}$$

柱式称重传感器与上压头相接触，E 点称为初始接触点，取曲面在 E 点的法线为 z 轴，两曲面的弹性体在压力作用下，相互接触时，都会产生接触应力，力学模型如图 3.2、图 3.3。平面曲线 AEB、CED 为垂直于 Z 轴的剖切平面与曲面相交生成的平面曲线，每条平面曲线在 E 点有一个曲率半径。平面曲线所在的平面为 yz 平面，由此得出坐标轴 x 和 y 的位置。不同平面曲线对应不同位置的 X 轴、Y 轴，z 轴是相互重合的，而 x_1 和 x_2 之间、 y_1 和 y_2 之间的夹角用 Φ 表示。

两曲面接触并压紧，压力 P 沿 z 轴作用，在初始接触点的附近，材料发生局部的变形，靠接触点形成一个小的椭圆形平面，椭圆的长半轴 a 在 x 轴上，短半轴 b 在 y 轴上。椭圆形接触面上各点的单位压力大小与材料的变形量有关，z 轴上的变形量大，沿 z 轴将产生最大单位压力 P_0 。其余各点的单位压力 P 是按椭圆球规律分布的。

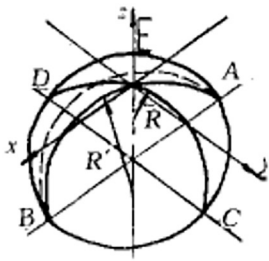


图 3.2 曲面体坐标及接触椭圆

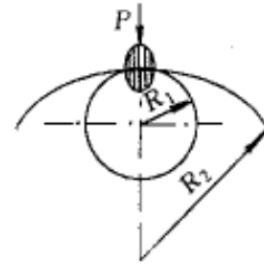
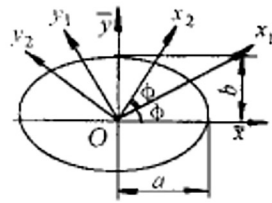


图 3.3 两球体内接触

其方程为： $\frac{p^2}{p_0^2} + \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$

单位压力： $P = P_0 \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}}$

半径为 R_1 、 R_2 的两球体内接触，在压力 P 的作用下，形成一个半径为 a 的圆形接触面积，即 $a = b = 1.109^3 \sqrt{\frac{P R_1 R_2}{E R_1 - R_2}}$ ，当两球体材料的弹性模量当 $E_1 = E_2 = E$ ，泊松比 $\mu_1 = \mu_2 = 0.3$ 时，由赫兹公式得：

最大接触应力 $\sigma_{\max} = 0.388^3 \sqrt{PE^2 (\frac{R_2 - R_1}{R_1 R_2})^2}$

接触相对位移 $\delta = 1.231^3 \sqrt{(\frac{P}{E})^2 \frac{R_2 - R_1}{R_1 R_2}}$

当水平冲击力较小时，滚动摩擦阻小于最大滚动摩擦力偶，秤台与传感器不产生相对运动。以传感器与下压头的接触位置为支点，秤台带动传感器朝水平力的方向移动，产生角位移，称重传感器无旋转。随着水平方向的力增大，称重传感器倾角大于临界角度，秤台与称重传感器发生相对滑动，二者的运动状态不再一致，但称重传感器所受的摩擦力方向由秤台的平动方向来决定。当称重传感器有一定的角位移，压力 P 不再沿称重传感器中心轴线方向传递，产生了角度，如图 3.4 所示。接触曲面上的作用力 P 与摩擦力 f 相互作用，在接触曲面上产生一个垂直于称重传感器中心轴的分力，由于该分力距离弹性体的中心轴有一段距离， f' 会使称重传感器绕着自身的中心轴线产生转动，如图 3.5 所示，旋转由此产生。

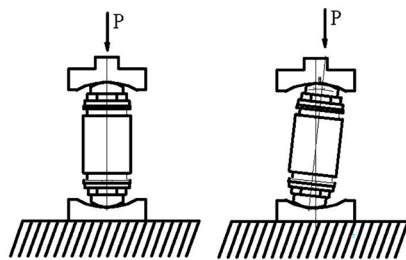


图 3.4 称重传感器发生角位移示意图

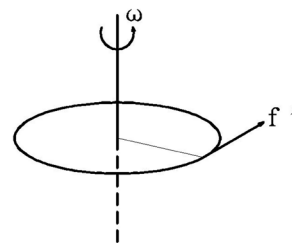


图 3.5 绕定轴转动简图

根据现场应用我们知道，载重汽车的上秤方向是由现场安装位置来决定的，并非完全平行于承载器的纵向中心线，水平方向产生的力 F 也会因此发生改变，如果某一只称重传感器安装高度不良出现低于整体水平的情况，这种冲击会更加明显，如图 3.1 中所示的 F' 。承载器在承受横向、纵向限位的不断撞击与回弹过程中，水平力的方向与大小也在不停的发生复杂变化。正是这两个原因导

致称重传感器的旋转。但是我们由分析的过程可以看出如何减少旋转的可能性：一是避免较大轴载，使秤台受力后减少变形；二是控制载重汽车上秤速度，降低水平方向的冲击惯性；三是保证称重传感器安装垂直度，避免称重传感器安装倾角大，受力后加大称重传感器侧倾，减小称重传感器角位移。

以上是自己的一些粗浅的看法，不当之处还请同行指正。

作者简介：胡晓曼，女，长安大学金属材料加工硕士研究生毕业，2019年进入山东金钟科技集团股份有限公司，在技术工程中心从事衡器产品设计工作。

[参考文献]

- [1] 刘培宇等. 新型柱式传感器的研制 [J]. 衡器 2013, (11)
- [2] 沈立人. 再谈正确使用传感器 [J]. 衡器 2013, (11)