

电子平台秤中称重传感器安装的几个问题解析

□沈立人

【摘要】称重传感器安装质量影响电子平台秤计量性能的问题，发生在许多类似产品中。而影响这些安装质量的几方面因素，都发生在不被注意的环节，如安装称重传感器连接件的结构与加工质量，如紧固称重传感器的螺栓（钉）的等级，紧固称重传感器的预紧力力矩等。本文从理论角度解析以上几个方面的问题。

【关键词】平台秤；称重传感器；安装；预紧力

文献标识码：A

文章编号：1003-1870（2025）06-0005-06

Analysis of Several Issues in the Installation of Load Cells in Electronic Platform Scales

【Abstract】The problem that the installation quality of load cells affects the metrological performance of electronic platform scales occurs in many similar products. The factors affecting these installation qualities often lie in unnoticed links, such as the structure and processing quality of the connecting parts for load cell installation, the grade of bolts (screws) for fastening load cells, and the pre-tightening torque of load cells. This paper analyzes the above issues from a theoretical perspective.

【Keywords】Platform scale; Load cell; Installation; Pre-tightening force

引言

在2011年前后，一家衡器制造企业通过衡器协会邀我到其公司咨询。下火车后车辆直接将我拉到该公司附近的用户处，让我观看正在使用中的一台平台秤，这台平台秤最大秤量大约为2t左右。据邀请方介绍，此台平台秤使用一段时间后称量性能就

发生变化，只好隔一段时间使用旁边一只1t的大砝码标定，然后继续使用，邀请方请我解释出现这种情况的原因。因为该平台秤正在使用中无法进行检查，我向邀请者询问目前企业内是否仍有该类产品的储备，如果有咱们到企业内观看产品，然后进行分析研究。

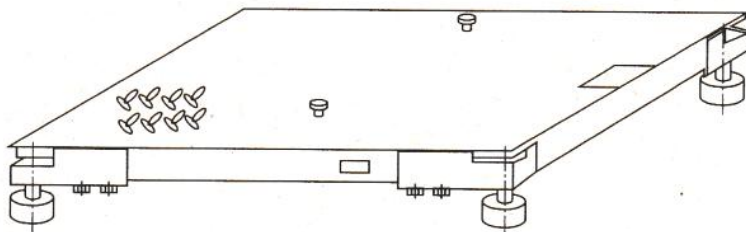


图1 平台秤结构示意图

来到该企业生产车间，看到了类似现场使用的产品（图1），是一台安装了4只悬臂梁称重传感器的平台秤。当承载器翻转过来，看到是使用两只六角螺栓（钉）将称重传感器紧固在预先焊接于承载器上的一块钢板上，而且这块钢板与称重传感器接触的表面还保留着氧化皮，根本就没有被加工过，这是第一个问题。紧固称重传感器的两只六角螺栓

（钉）端部没有任何标记，这是第二个问题。询问现场工作人员其没有任何制造、安装工艺文件，这是第三个问题。

这三个问题对于正应力的平行梁称重传感器和剪应力的悬臂梁称重传感器都存在，本文将使用这些称重传感器出现的问题进行解析。

1 平行梁称重传感器结构

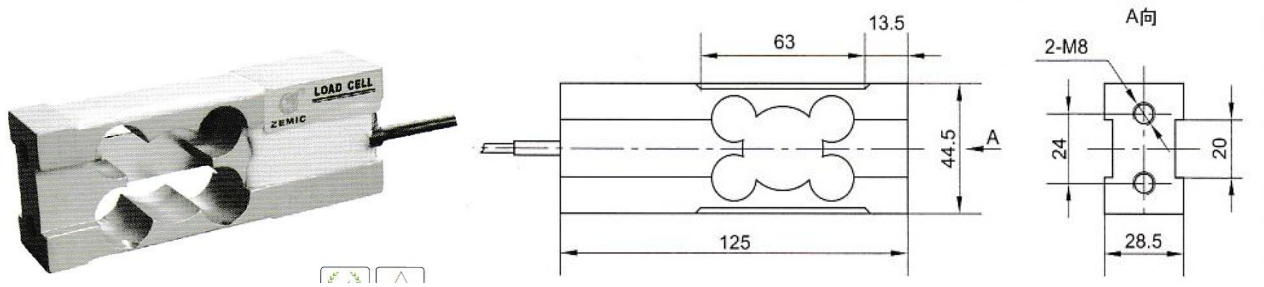


图2 平行梁称重传感器结构示意图

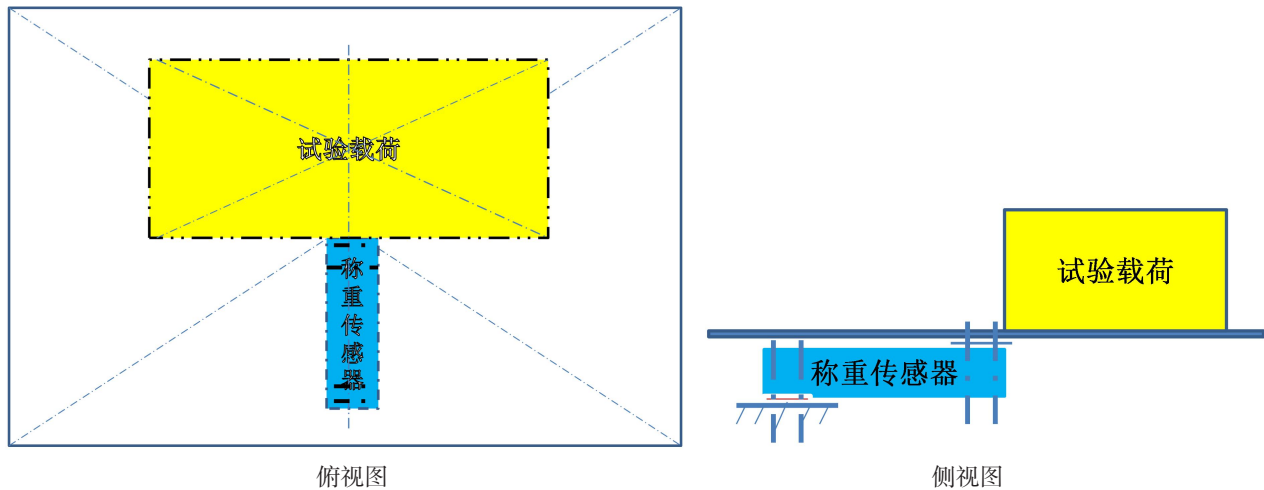


图3 平行梁称重传感器试验加载位置示意图

1.1 传统型称重传感器

以一台最大秤量为30kg的电子计价秤为例，承载器尺寸为330mm×350mm，采用一只最大秤量50kg平行梁式称重传感器（见图2），两只M8安装螺栓（钉）为前后排列，加载为极限位置状态（见图3），

30kg的重物在承载器一端时，作用力距离由76mm延长到176mm，两只螺栓（钉）的作用力分别是：

$$M = Pr_3 = P_1 r_1 + P_2 r_2$$

$$\text{且 } P_1/r_1 = P_2/r_2$$

其中：

$$P_1 = \frac{M r_1}{r_1^2 + r_2^2} = \frac{P r_3 r_1}{r_1^2 + r_2^2} = \frac{30\text{kg} \times 176\text{mm} \times 40\text{mm}}{40\text{mm}^2 + 13.5\text{mm}^2} = 118.5 \text{ kg}$$

$$P_2 = \frac{M r_2}{r_1^2 + r_2^2} = \frac{P r_3 r_2}{r_1^2 + r_2^2} = \frac{30\text{kg} \times 176\text{mm} \times 13.5\text{mm}}{40\text{mm}^2 + 13.5\text{mm}^2} = 40 \text{ kg}$$

按照受力最大的螺栓（钉）进行计算：

查，M8 螺栓（钉），其内径截面积为 $36.6\text{mm}^2=0.366\text{cm}^2$ ，

$$\sigma = \frac{P_1}{A} = \frac{118.5\text{kg}}{0.366\text{cm}^2} = 324\text{kg/cm}^2$$

查，8.8 级高强度螺栓（钉）屈服极限 $\sigma_s=6400\text{kg/cm}^2$ ，安全系数 $n=2$ ，

许用应力：

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{n} = \frac{6400\text{kg/cm}^2}{2} = 3200\text{kg/cm}^2 > 324\text{kg/cm}^2$$

如果按普通螺栓（钉）屈服极限计算： $\sigma_s=3000\text{kg/cm}^2$ ，安全系数 $n=2$ ，

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{n} = \frac{3000\text{kg/cm}^2}{2} = 1500\text{kg/cm}^2 > 324\text{kg/cm}^2$$

从计算数据来看，普通螺栓（钉）的应力也是可以满足紧固力的要求。

1.2 改进型称重传感器

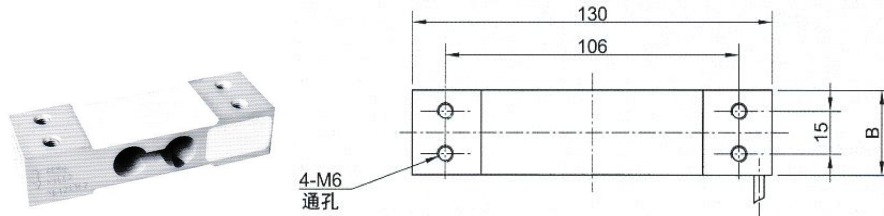


图4 改进型平行梁称重传感器示意图

后来有些企业为了节省材料，将最初44mm 厚的材料改为了22mm，同时将前后排列的固定螺孔改为两个并列M6 的螺孔。

这里同样选择最大秤量为30kg 的电子计价秤，承载器尺寸为330mm×350mm，采用一只最大秤量50kg 平行梁式称重传感器（见图4），安装两只M6 螺栓（钉）为平行排列，加载为极限位置状态，30kg 的重物在承载器一端时，作用力距离由76mm 延长到176mm，两只螺栓（钉）的作用力分别是：

$$M = Pr_2 = P_1 r_1$$

$$P_1 = \frac{P r_2}{r_1} = \frac{30\text{kg} \times 150\text{mm}}{13\text{mm}} = 346\text{kg}，\text{这样每个螺}$$

栓（钉）的作用力为： $\frac{346\text{kg}}{2} = 173\text{kg}$ 。

查，M6 螺栓（钉），其内径截面积为 $20.1\text{mm}^2=0.201\text{cm}^2$ ，

$$\sigma = \frac{P_1}{A} = \frac{173\text{kg}}{0.201\text{cm}^2} = 861\text{kg/cm}^2$$

查，8.8 级高强度螺栓（钉）强度极限 $\sigma_s=6400\text{kg/cm}^2$ ，安全系数 $n=2$ ，

许用应力：

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{n} = \frac{6400\text{kg/cm}^2}{2} = 3200\text{kg/cm}^2 > 861\text{kg/cm}^2$$

如果按普通螺栓（钉）强度极限计算： $\sigma_s=3000\text{kg/cm}^2$ ，安全系数 $n=2$ ，

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{n} = \frac{3000\text{kg/cm}^2}{2} = 1500\text{kg/cm}^2 > 861\text{kg/cm}^2$$

从计算数据来看，普通螺栓（钉）的应力也是可以满足紧固力的要求。但是，现在应该注意到，普通螺栓（钉）的强度极限比较低，应该留有足够的余量。

2 悬臂梁称重传感器结构

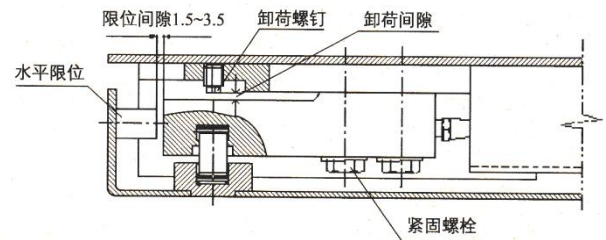


图5 悬臂梁称重传感器安装示意图

一台最大秤量为5t 的电子平台秤（见图5），采用了四只最大秤量为2t 的悬臂梁称重传感器，图6 是这个悬臂梁称重传感器的受力示意图。

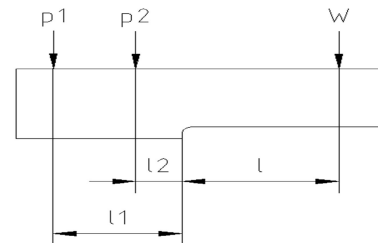


图6 悬臂梁称重传感器受力示意图

预拉力 P_1 距支点为 $l_1=41\text{mm}$ ，预拉力 P_2 距支点为 $l_2=16\text{mm}$ ，作用点 W 距支点为 $l=60\text{mm}$ 。高强度螺栓（钉）使用40B材料，其屈服极限应力 $\sigma_s=6500\text{kg/cm}^2$ ，安全系数 $n=2$ ，

许用应力：

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{n} = \frac{6500\text{kg/cm}^2}{2} = 3250\text{kg/cm}^2$$

$$P_1 = \frac{Wl_1}{l_1^2 + l_2^2} = \frac{2000\text{kg} \times 0.6\text{cm} \times 0.41\text{cm}}{(0.41\text{cm})^2 + (0.16\text{cm})^2} = 2540\text{kg}$$

$$\text{螺栓（钉）截面积 } A_1 = \frac{P_1}{[\sigma]} = \frac{2540\text{kg}}{3250\text{kg/cm}^2} = 0.78\text{cm}^2$$

$$\text{螺栓（钉）直径 } d_1 = 2\sqrt{\frac{A_1}{\pi}} = 2 \times \sqrt{\frac{0.78\text{cm}^2}{3.14}} = 1\text{cm}$$

$$P_2 = \frac{Wl_2}{l_1^2 + l_2^2} = \frac{2000\text{kg} \times 0.6\text{cm} \times 0.16\text{cm}}{(0.41\text{cm})^2 + (0.16\text{cm})^2} = 991\text{kg}$$

$$\text{螺栓（钉）截面积 } A_2 = \frac{P_2}{[\sigma]} = \frac{991\text{kg}}{3250\text{kg/cm}^2} = 0.3\text{cm}^2$$

$$\text{螺栓（钉）直径 } d_2 = 2\sqrt{\frac{A_2}{\pi}} = 2 \times \sqrt{\frac{0.3\text{cm}^2}{3.14}} = 0.6\text{cm}$$

所以，为了便于管理和操作，两个都选用规格为M12的10.9级的高强度螺栓（钉）。

3 解析

从以上多个产品案例中可以看出，称重传感器结构设计是没有问题的。为什么在使用中会出现一些影响秤计量性能的问题？主要有以下几个方面的情况：

3.1 结构问题

3.1.1 机械结构问题

由于目前大多数衡器产品都是型钢焊接结构的，有些型钢材料本身就存在不规范现象，再加上钢结构在焊接过程中焊件上产生局部高温的不均匀温度场，高温部分的钢材膨胀受到邻近钢材的约束，从而在焊件内部引起较高的温度应力和变形，称为焊接应力和焊接变形。焊接应力较高的部位产生塑性变形，冷却后将残存于构件内部，因而将残存于构件内部的焊接应力和焊接变形称为焊接残余应力和焊接残余变形。如果焊接过程中没有处理好焊接应力均化问题，这些机械结构会出现不平整现象。如果在焊接安装称重传感器的钢板处于同一平面时，直接影响到称重传感器的作用力。

3.1.2 安装接触面问题



图7 悬臂梁式称重传感器安装示意图

从图7中可以清楚地看出，此只悬臂梁式称重传感器安装在一块没有经过任何加工过的钢板上，称重传感器底面粗糙度一般都是 $1.6\mu\text{m} \sim 6.3\mu\text{m}$ ，热轧钢板的粗糙度都是 $25\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$ ，而且从图中可以看出此块钢板表面还有一些隆起。在这种情况下，一旦

螺栓（钉）的预紧力达不到设计要求，在载荷一次又一次地加载过程中，电子秤的零点必然会发生变化，将会直接影响该称量装置的计量性能。所以在实际操作中，在未焊接之前起码要对这块钢板的粗糙度采用铣床加工至 $12.5\mu\text{m}$ 左右，然后将多块钢板焊接

在承载器上并形成同一平面。

3.2 安装问题

在安装工艺中应该注意称重传感器的安装质量，如横平竖直问题，并形成同一平面。

所谓“横平”，就是水平安装的称重传感器，如悬臂梁式、平行梁式等几种结构形式的产品在安装时，其基础要求平整；安装后，其作用面要求水平。

所谓“竖直”，在安装时无论何种产品，其作用轴线必须与承载器轴线平行，与基础水平面垂直。对一些安装基准不一致的部件来讲，如果对安装尺寸链不设计一个开环进行调节，就很难控制了。

3.3 螺栓（钉）的预紧力问题

称重传感器安装螺栓（钉）及加固力造成的误差还可能使称重传感器产生滞后误差。由于螺栓（钉）强度不够或预紧力不够，称重传感器在外载荷作用下产生一转角 θ ，当卸去载荷时，由于 θ 转角的存在，称重传感器很难恢复到原来的位置，在旋转和恢复过程中底面之间产生摩擦力，在两个方向因摩擦力的不同而产生滞后误差。对于一个特定的螺栓（钉）而言，其预紧力的大小与螺栓（钉）的拧紧力矩、螺栓（钉）与螺母之间的摩擦力，螺母与被连接件之间的摩擦力有关。

对于一个不确定的螺栓（钉）而言，一个螺栓（钉）可使用的最大预紧力与螺栓（钉）材料品种、螺栓（钉）材料热处理、螺栓（钉）直径大小等都有关系。

3.3.1 预紧力

在工程领域中，测定螺栓（钉）预紧力通常有一些技术方法。对于精度要求高的螺栓（钉）预紧力的测量往往采取螺栓（钉）弹性变形量大小来测量，并计算出预紧力大小。对于中等要求的螺栓（钉）预紧力的测量通常选用力矩扳手，按照规定的力矩大小拧紧螺母即可。对于一般要求的螺栓（钉）预紧力测量，用的最多的方法就是根据手力拧紧螺母，便以此开始，按规定要求用扳手拧紧螺母若干个角来估测预紧力是否达到要求。因为大直径的高强度螺栓（钉）的预紧力比较大，都是采用专用的机械装置进行操作的，例如10.9级M33的高强度螺栓，预紧力需要超过100kg/m，在现场无法进行操作，也不便于维修，所以迫使一些结构的称重传感器退出历史舞

台。

3.3.2 预紧力控制

预紧可以提高螺栓（钉）连接的可靠性、防松能力和螺栓（钉）的疲劳强度，增强连接的紧密性和刚度。事实上，大量的试验和使用经验证明：较高的预紧力对连接的可靠性和被连接的寿命都是有益的，特别对有密封要求的连接更为必要。当然，俗话说得好，“物极必反”，过高的预紧力如若控制不当或偶然过载，也常会导致连接失败。

（1）影响螺栓（钉）结构

使用不同级别的螺栓（钉）应该按规定采用不同的预紧力，对于普通级别的螺栓（钉），特别是小规格的螺栓（钉），当预紧力过大会直接将螺栓（钉）拧断。

（2）影响称重传感器性能

当安装螺孔距离称重传感器应变区域比较近时，螺栓（钉）预紧力所产生的压应力会干涉到称重传感器应力变化，从而影响到称重传感器的计量性能。所以制造工艺在对图8中20t桥式称重传感器规定了一个原则性指标，然后每一批产生的产品按检测的数据进行调整，如滞后指标差一些就增加一点预紧力，线性指标达不到要求的也可以调整一下预紧力进行改变。

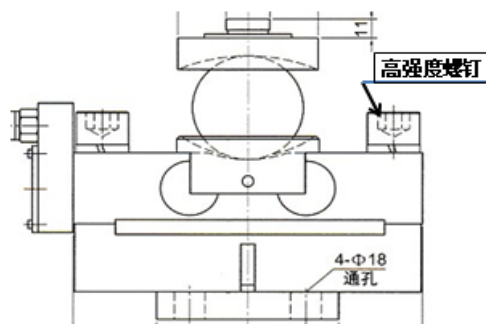


图8 桥式称重传感器示意图

4 几个注意的问题

4.1 螺孔加工质量问题

机械设计手册^[1]的规定，螺孔直径必须为表内的尺寸，只有这样才能使螺栓（钉）的预紧力有效达到紧固要求。按照螺纹的螺孔加工工艺，应该首先按表1的尺寸加工出螺孔，再使用机用（或手用）丝锥加工出螺纹。如果现场操作人员为了提高工作效率

擅自将螺孔的直径加大，比如将M24的螺孔由 $\Phi 20.9$ 改为 $\Phi 22$ ，这样工作效率是提高了，而且不用量具

还很难发现，但是，影响了螺栓（钉）的预紧力效果，可能造成称重传感器的安装质量。

表1 粗牙螺纹螺孔加工直径

螺纹直径d	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30	M33
钻孔直径 d_0	3.3	4.2	5	6.7	8.5	10.2	14	17.4	20.9	24	26.4	29.2

4.2 螺母使用问题

在需要螺母配合高强度螺栓（钉）紧固称重传感

器时，所选择的螺母应该与高强度螺栓（钉）配套（见表2），并且需要增加相应大小的垫圈。

表2 螺栓、螺钉和螺母性能和材料配合

螺栓（钉）性能等级	4.8级、5.8级、6.8级	8.8级	9.8级	10.9级	12.9级
螺母性能等级	5级、6级	8级	9级	10级	12级
材料及热处理	低碳钢或中碳钢	中碳钢，淬火并回火			合金钢

4.3 螺栓（钉）使用问题

4.3.1 螺栓（钉）的质量

从上文的计算可以看出，对于平行梁称重传感器的安装固定，即使是使用普通螺钉进行紧固，也能保证有足够的紧固力。但是必须注意普通螺钉的

强度指标，在规定的紧固力矩下不要将普通强度的螺栓（钉）拧断，所以这个安装称重传感器的螺栓（钉）起码应该选择8.8级的。

4.3.2 螺栓（钉）的力矩影响

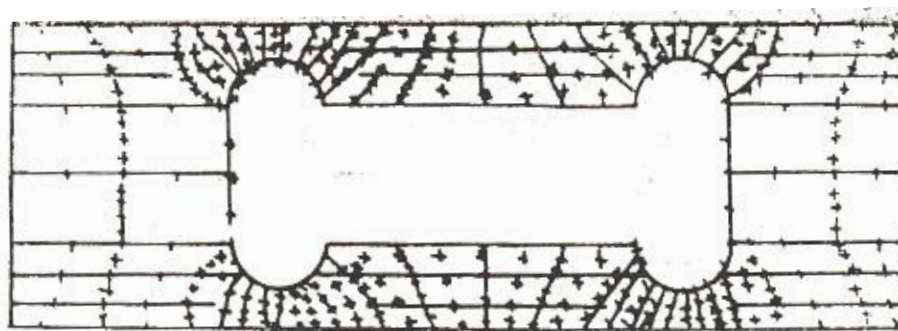


图9 平行梁称重传感器光弹试验示意图

从这张平行梁称重传感器光弹试验（图9）上可以清楚地看到，在称重传感器受到外力作用时，弹性体应力曲线集中在四个应变区域内，而弹性体的两端基本没有应力分布，所以将螺孔设计在底面时，安装时螺栓（钉）的紧固力矩所产生的应力必然会与应变应力产生干涉，从而影响电阻应变计的正常测试。所以，对于改进型的平行梁称重传感器，位于弹性体底部紧固螺栓（钉）的预紧力必须严格控制，既不能太小而影响称重传感器的固定，又不能太大使其干涉到四个应变区的应力。

参考文献

机械设计手册（上册）第二版（修订）《机械设计手册》联合编写组编. 化工出版社, 1987年12月.

作者简介

沈立人，1947年出生，高级工程师。现为中国衡器协会发展战略咨询委员会委员。