

平行梁型称重传感器四角误差的产生与调整

□林志伟^{1,2,3}

[1. 福建省计量科学研究院 2. 福建省力值计量测试重点实验室 3. 国家市场监督管理总局重点实验室 (力值计量测试)]

【摘 要】本文通过分析材质、电阻应变片粘贴、环境温湿度等因素对平行梁型称重传感器四角误差产生的影响，简介如何解决上述问题，重点介绍了半成品状态下称重传感器四角误差的调整。

【关键词】称重传感器；电阻应变计；平行梁；四角误差

文献标识码：A

文章编号：1003-1870 (2025) 07-0009-05

Generation and Adjustment of Corner Load Error of Parallel Beam Load Cells

【Abstract】This paper analyzes the influence of factors such as material, resistance strain gauge bonding, ambient temperature and humidity on the corner load error of parallel beam load cells, briefly introduces how to solve the above problems, and focuses on the adjustment of the corner load error of the load cell in a semi-finished state.

【Keywords】load cell; resistance strain gauge; parallel beam; corner load error

引言

在当今消费升级及各行业智能化转型升级的大环境下，从生产端、到中间的物流、再到最终的销售使用等各环节，对产品质量和精确计量的要求都在不断提高，电子秤作为使用最广泛的计量器具，商业零售、物流仓储、制造业等行业对它的需求及要求也在不断增长。特别是在电商、快递等行业的蓬勃发展下，对高效、准确计重的需求将继续增加。作为电子秤的核心部件——铝合金双孔平行梁型称重传感器的质量提升与准确度的提高，就显得更加迫切。

1 平行梁型称重传感器的四角误差

平行梁型称重传感器弹性体受到载荷作用时，弹性体应变敏感区域将产生微小形变，粘贴在弹性体应变敏感区域的电阻应变片，随即产生相应的电阻变化，这四片电阻应变片组成的惠斯通电桥则将这些电阻阻值的变化转换为相对应的输出电压信号，通过相关设备测量后则可以得到相应电压变化，测得此变化即可完成称重计量任务。

平行梁型称重传感器组装的电子秤，在称量时物体重量通过秤盘传递给称重传感器，由于每次称量物体的放置位置不同，因此产生偏载并在应变区

基金资助：福建省省属公益类科研院所基本科研专项（项目名称：称重传感器四角误差智能测量及其自适应调整装置的研制，项目编号：2024R1050）

粘贴电阻应变计处引起附加应变,使称重传感器的输出产生误差,通常称为四角误差。因此必须对平行梁型称重传感器的四角误差进行理论分析,找出消除或减少四角误差的方法。

2 影响称重传感器四角误差的因素

四角误差是铝合金双孔平行梁型称重传感器极为关键的一个技术指标^[1],而影响平行梁型称重传感器四角误差的因素则主要有以下几种:

(1) 用于生产制造铝合金双孔平行梁型称重传感器弹性体的铝合金原材料材质不均匀,或生产制造过程中产生的瑕疵,引起相关电阻应变片产生的电阻应变量的差异,进而影响了称重传感器的四角误差。

(2) 电阻应变片的粘贴位置的偏差,偏离预设的弹性体受力中心位置或者电阻应变片粘贴的对称性未达到设计预期,这就会使得电阻应变片组成的惠斯通电桥输出的电压信号存在差异,直接导致称重传感器四角测量信号的不一致,即四角误差的产生。

(3) 不同的环境温度与环境湿度也会对平铝合金双孔平行梁型称重传感器的弹性体产生一定的干扰影响,作为弹性体的金属材料,其不同位置的温度如果存在不一致,也会因为其热膨胀系数引起弹性体形变量的不一致,进而影响称重传感器四角误差。而湿度变化则可能让电阻应变片受潮,使得相关电阻应变片的输出信号偏离实际数值。

3 如何减少各影响因素

针对上述几个因素,大部分生产企业都通过筛选优质的铝合金弹性体原材料,尽可能减少原材料对称重传感器产品四角误差的影响,设计增加温度补偿电路,减少温度变化对称重传感器输出信号的影响,通过在电阻应变片粘贴完成后进行封胶工艺,减少环境湿度对电阻应变片产生的干扰。

而对于最为关键的电阻应变片的位置确定与粘贴,不同的厂家使用的方式则不尽相同,较为原始一些的采用慢工出细活的方式,通过人工微调的方式,保证电阻应变片的粘贴位置与粘贴对称性。也有部分企业通过机器视觉等方式,采用计算机控制

精准定位每个传感器的胶粘位置,配合机械手完成电阻应变片的粘贴。但不管采用哪种方式对各种影响因素进行约束与限制,称重传感器四角误差的产生仍然不可避免,所以称重传感器在完成电阻应变片的胶粘后,还是必须经过一道称重传感器四角误差调整的生产环节,使每台称重传感器的四角误差一致性满足设计的技术指标后,才算完成整个称重传感器的生产。

4 四角误差的调整原理

平行梁型弹性元件应变区的最大应变为:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{3PL}{2bh^2E}$$

根据上式,我们可以将不管什么因素引起的偏载误差,都归结为应变区每片电阻应变计处截面尺寸b和h的不一致所造成的。只要对截面尺寸b和h进行微量调整,就可以修正偏载误差,即可调整四角误差。

称重传感器弹性体结构尺寸^[3](如图1所示)会影响灵敏度输出的有孔径r、弹性元件厚度b以及孔距 L_2 ^[2]。调整弹性元件厚度b,其他如总长度、高度等基本不对灵敏度产生影响。半成品状态下的称重传感器,其长宽高尺寸均为客户需求的固定尺寸,即弹性元件厚度b无法进行调整。而孔距 L_2 的调整,基本是用于较大区间上调整整个称重传感器的灵敏度,相较于孔距 L_2 的调整,孔径r进行微调,则会对灵敏度的输出产生一定的影响,十分契合四角误差的调整。实际操作过程中,进一步简化为通过调整平行梁型称重传感器贴片厚度,调整该输出应变值与灵敏度^[4]。所以,称重传感器生产企业大都采用通过细微调整平行梁型称重传感器的贴片的厚度,可以实现称重传感器四角误差一致性的调整。

当前,大部分生产企业都是参照称重传感器的实际应用场景,设计加工与之一致的工装:一块模拟秤盘的受力托盘、一个固定称重传感器用的模块。将待调整的称重传感器与工装正确安装后,对该称重传感器进行四角误差的测试(图2),记录其四角误差信息。

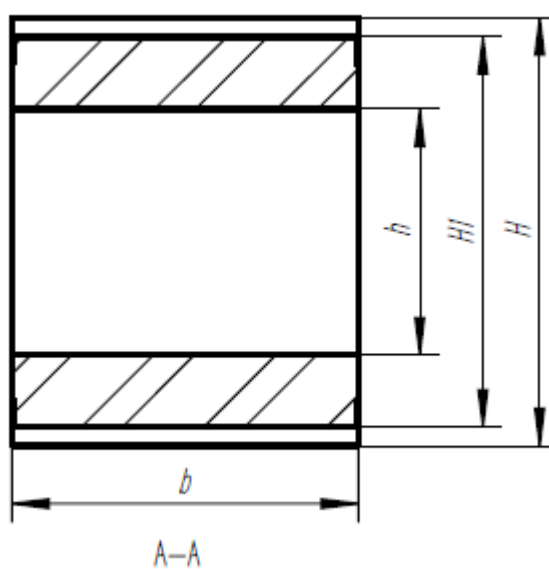
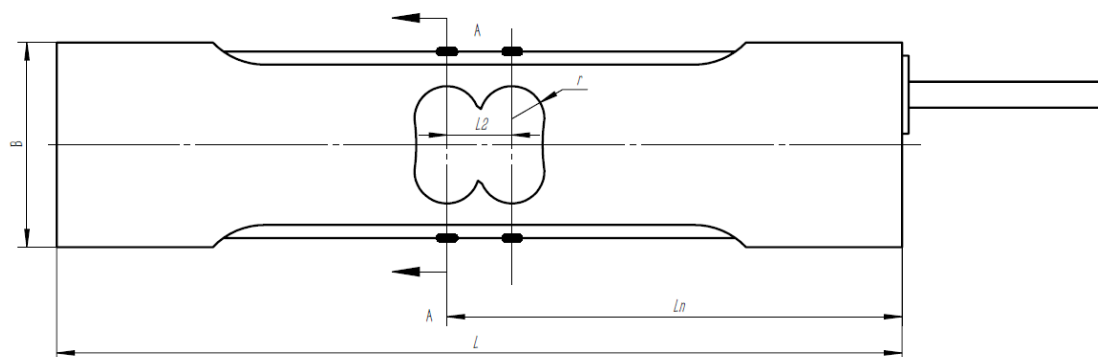


图1 称重传感器结构示意图

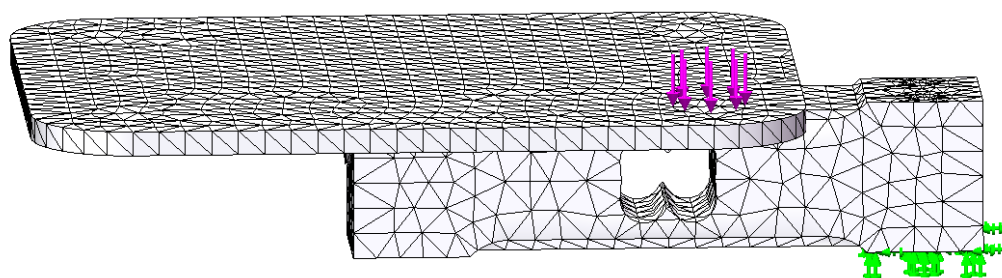


图2 称重传感器四角误差测量

通过人工统计分析该称重传感器四角误差信息，结合其长期积累的工作经验，找出需要进行调整的电阻应变片贴片区对应的孔位，对该孔位进行人工修锉，通过修锉的方式来达到调整目标电阻应变片贴片区厚度的调整，进而实现对称重传感器四角误差测量误差值的修正。

5 模型模拟实验测试

模拟将一台HBM 的PW2DC3/72kg 平行梁型铝合金称重传感器正确安装与配套在工装上，通过加载

24kg 的载荷对其四角误差进行测试，并找一处电阻应变片贴片区域进行调整，可以得出相关信息如下：

称重传感器初始状态下进行四角误差测试（图3），通过对该模型进行赋值后（图4）可得到目标点的受力为 $1.743e^{+01} \text{N/mm}^2$ （MPa）。对目标应变片对应的左上角的孔位进行厚度调整，再进行同样点位的四角误差测试（图5），再对测试模型进行赋值（图6）可得目标点的受力为 $1.901e^{+01} \text{N/mm}^2$ （MPa）。

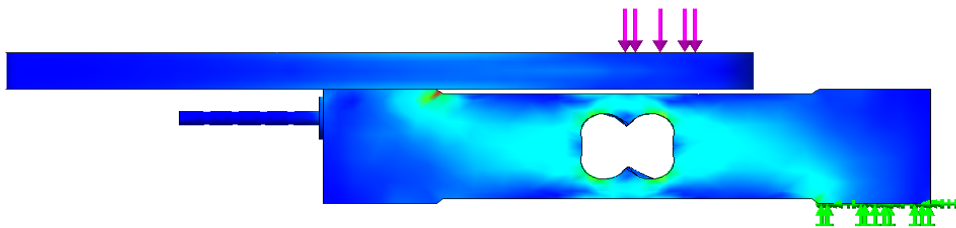


图3 初始状态下进行四角误差测试

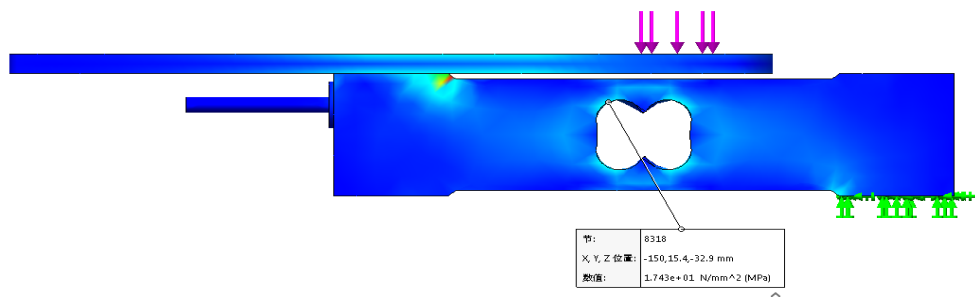


图4 对测试模型进行赋值

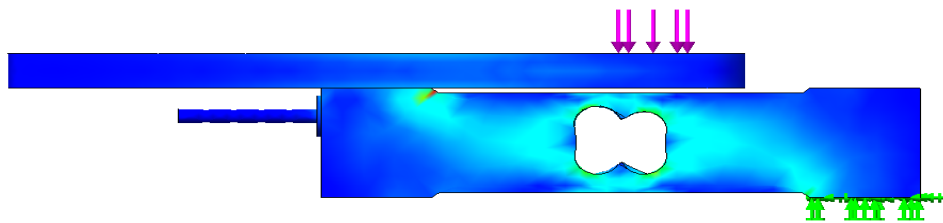


图5 左上角的孔位进行厚度调整后的测试状态

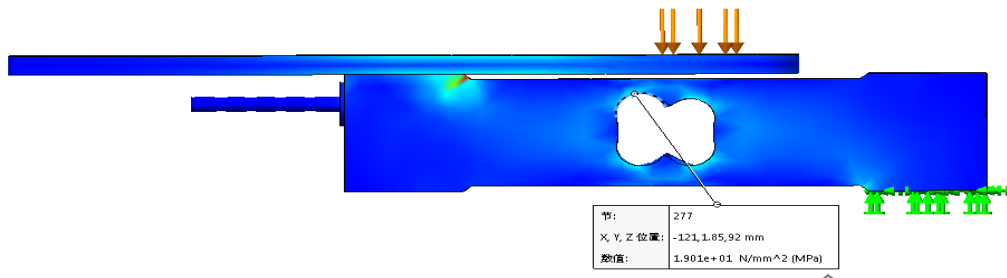


图6 对测试模型进行赋值

通过对平行梁型称重传感器应变片贴片区厚度的调整,可以实现目标点位的受力变化,进而影响称重传感器相关电阻应变片对应形变后灵敏度的输出大小,以实现该称重传感器四角误差调整。

6 智能化方向

现阶段,国内大部分称重传感器生产企业还是依靠人工调整的方式对称重传感器的四角误差进行测试、调整,对人工的技术水平要求较高、依赖性较强。而想要实现这一环节的机械自动化,就需要通过累积并学习大量的四角误差测试与调整数据,并通过不断提升与优化,形成一套完整称重传感器四角误差测试与调整的自动控制系统。

7 结语

展望未来,称重传感器的产品迭代升级方向日益清晰,弹性体结构通过新材料、新工艺的不断创新来实现其刚性的提高,电阻应变片通过更加精准的机器视觉技术配合上毫米级甚至纳米级的蚀刻技术来提升贴片精准度,传感器的高低温补偿上运用AI补偿算法来进行突破,产品四角误差的控制通过智能化的测试与调整来实现更高精度跨越式提升等,从而构建起一套全新的高精度的称重传感器技术体系,进一步推动电子秤等下游产品的转型升级,为更加智能化的物流称重分拣流转、零售业的自助称重结算等新兴应用打下坚实的技术基础。

参考文献

[1] 刘九卿. 平行梁型称重传感器的力学特性[J]. 衡器,2009,38(06):5-7.

[2] 程晓晓,王秋晓. 平行梁式传感器弹性体的设计与有限元分析[J]. 重庆理工大学学报(自然科学),2011,25(04):55-60.

[3] 姜招喜,王德庆,杨森平. 双孔平行梁弹性元件力学分析[J]. 传感器技术,1993,(05):38-40. DOI:10.13873/j.1000-97871993.05.008.

[4] 赵思宏,田春艳,范惠林. 平行梁式称重传感器的有限元分析[J]. 光学精密工程,2002,(02):209-213.

作者简介

林志伟(1987—),男,福建福州人,工程师。研究方向:力与扭矩计量,自动化。