

应变式称重传感器的环境适应性

□中国运载火箭技术研究院第七零二研究所 刘九卿

【摘要】本文以环境条件对电子衡器工作性能的影响为切入点，分析了作为电子衡器基础部件的应变式称重传感器应耐受的客观环境和感应环境条件，主要是用户所在地温度、湿度和振动、冲击、电源及各种电磁兼容的干扰等环境条件的影响。结合OIML 国际建议R60-1 Edition2017(E-cn)《称重传感器计量要求》中，对称重传感器量程稳定性和耐久性的要求，给出了提高应变式称重传感器耐受环境条件的有效途径。

【关键词】称重传感器；电子衡器；环境适应性；稳定性；可靠性；防护密封

文献标识码：B

文章编号：1003-1870（2023）01-0009-04

概述

应变式称重传感器是各类电子衡器的基础部件，其准确度、稳定性和可靠性对电子衡器称量准确度起决定性作用。我国电子衡器种类繁多应用面广，既涉及到国内外贸易结算，又涉及到广大消费者利益，关键领域应用的电子衡器是国家强制管理的法制计量器具。有些电子衡器还必须在比较恶劣的环境条件下工作，这就要求用于此类电子衡器的称重传感器，除必须达到相应的准确度等级要求外，还应该具有很高的环境适应性。按电子衡器使用环境的性质和特征，一般环境条件分为客观环境和感应环境两类，前者为周围的自然环境，后者是人为环境。电子衡器耐受的环境条件两者兼而有之，主要是温度、湿度、振动、冲击、电源及各种电磁兼容的干扰等。根据国内外称重传感器和电子衡器制造企业的共识，一般都将称重传感器的环境适应性指标落在称重传感器本身的量程稳定性和长期可靠性上。

准确度、稳定性和可靠性是称重传感器的重要质量指标，其中稳定性和可靠性是基础，没有稳定性和可靠性何谈准确度。称重传感器的性能随下面三个因素而变化：结构设计、制造工艺、测试检定。其环境适应性即称重传感器的量程稳定性和工作可靠性，则由防护密封和稳定性处理工艺决定。在OIML 国际建议R60-1Edition2017(E-cn)《称重传感

器计量要求》中，关于称重传感的量程稳定性为：

“经一段时间使用称重传感器测量范围内输出的能力”，可以理解为称重传感器的量程稳定性，即在一定时期内、相同条件下称重传感器灵敏度的变化程度。关于称重传感器的可靠性定义为“要求称重传感器应具有合适的耐久性，以符合称重传感器预期使用”，其要点是具有合适的耐久性才能符合称重传感器预期的使用寿命，可以理解为是在规定的使用条件下和一定的时间内称重传感器保持各项技术性能并稳定工作的能力，可以用无故障工作时间或可靠寿命来度量。两者的共同点是如何能够耐受各种可能遇到的环境条件作用而能稳定可靠地体现其技术性能指标，即对环境条件的适应性。因此，必须重视并了解环境条件及其潜在影响，选择能够对抗这些环境条件影响的称重传感器。

1 环境条件对称重传感器性能的影响

无论是在室内还是室外应用的电子衡器，都必须耐受客观环境和感应环境的双重影响。前者为电子衡器应用场所周围的自然环境，后者是电子衡器工作时的人为环境，两者的影响主要是温度、湿度、振动、冲击、电源及各种电磁兼容的干扰等。称重传感器在这样的环境条件下应能稳定可靠的工作，就必须确保称重传感器具有较高的量程稳定性和长期可靠性。此问题长期以来一直是称重传感器生产企业致力于解决的技术关键问题，其实质是称

称重传感器对外部条件的稳定性，或者说是环境适应性主要是对温度、湿度变化的稳定性，以及耐腐蚀、磨损性、抗振动和冲击性。

称重传感器的工作原理、弹性元件结构和制造工艺决定了它能承受一定的振动、冲击载荷，在高温、低温环境条件下使用时又配有专用的耐高温、耐低温称重传感器。一般用于电子衡器的称重传感器，其使用温度为 $-20 \sim 40^{\circ}\text{C}$ ，所以耐环境设计主要是防潮湿、防盐雾、防霉菌的三防设计。称重传感器在使用过程中，受到水的直接喷射和浸泡，潮气的渗入都会使应变胶粘剂的粘结强度和绝缘电阻下降，因为潮气并不完全是 H_2O ，通常是许多复杂的水溶液，它能渗入各种聚合物，使其增塑而改变性能。盐雾是一种气溶胶状体，主要成分是氯化钙、氯化镁和其他杂质，对弹性元件、电阻应变计和应变胶粘剂有较强的腐蚀作用，这是称重传感器防护与密封的重点。如果防护与密封不良，将使此前各项工艺成果前功尽弃。因此，防护与密封是称重传感器制造工艺流程中的要害工序，是称重传感器耐受客观环境和感应环境条件影响而能稳定可靠工作的根本保障。提高环境适应性的有效途径，就是增强称重传感器的防潮、防水、防盐雾性能和抗振动、冲击能力。

2 提高称重传感器环境适应性的有效途径

提高称重传感器环境适应性的有效方法是强化防护与密封技术与工艺水平，采用具有防水、防腐能力强的特氟龙屏蔽电缆线和防鼠蛀蚀能力的电缆线。总结国内外称重传感器制造企业防护密封的成功经验，盲孔内灌封和焊接密封是确保称重传感器长期稳定和可靠工作的重要工艺措施。

称重传感器的防护与密封分为多道工序进行，首先是为粘贴在弹性元件上的电阻应变计涂刷防护面胶，涂刷时机与涂刷前的清洗至关重要。一般是在粘贴电阻应变计、加压固化、后固化、质量检查、粘贴端子、焊线组桥和测量绝缘电阻各工序质量合格后进行，即将整体清洗后的弹性元件尽快放入高温试验箱内，加温 40°C 并保温一定时间，从箱内取出弹性元件，在干燥的环境条件下涂刷防护面胶。其目的是防止电阻应变计在生产过程中受潮，并为最后的防护与密封打好基础。用于电阻应变

计保护涂层的材料较多，具有代表性的是：美国VISHAY公司生产的M-CoatC型防护面胶。它是一种溶剂稀释的RTV硅橡胶，固化后形成坚韧而有弹性的透明薄膜，且有良好的机械、电气特性和防化学侵蚀性能，其涂层的薄膜厚度为 $0.4 \sim 0.5\text{mm}$ 。德国HBM公司生产的SN-4型氯丁橡胶和BARRIER-C型无腐蚀性硅橡胶。其次是在电阻应变计涂刷防护面胶后，根据称重传感器弹性元件结构的不同，再进行表面密封、盲孔内灌封或焊接密封处理，其中焊接密封是提高称重传感器环境适应性的有效途径，以电子束焊接和激光焊接应用较多。

称重传感器的电子束焊接密封工艺是在电子束焊机真空腔内进行焊接作业，其焊接工艺是焊机通入电流加热阴极，使它成为一个能发射电子的电子枪系统，带有负电荷的电子束高速飞向处于高电位的称重传感器外壳、密封模片与弹性元件相贴合的焊缝。焊机的聚焦系统使电子束聚焦，并以极高的速度冲击到极小面积的焊缝上，将动能转变为热能。电子束聚焦越细能量就越集中，可在几分之一微秒内，使被焊接的极小面积焊缝的温度升高到近千度，从而熔化被焊接材料进行焊接密封。电子束焊接的特点是：

(1) 功率密度高，其加速电压范围为 $30 \sim 150\text{KV}$ ，电子束电流 $20 \sim 1000\text{mA}$ ，电子束焦点直径约为 $0.1 \sim 1\text{mm}$ ，电子束功率密度可达 $106\text{W}/\text{cm}^2$ 以上；

(2) 焊接在 $100 \sim 1000\text{Pa}$ 压力真空腔内进行，不受各种污染物影响；

(3) 焊接时能量快速高度集中，热影响区小，被焊件不变形；

(4) 适用范围广，可焊接各种合金钢、不锈钢和有色金属材料，焊接最小厚度为 0.1mm ；

(5) 焊接后弹性元件或电阻应变计处于 $100 \sim 1000\text{Pa}$ 真空中，是最佳的密封状态，密封等级可达IP68；

(6) 没有焊渣，无须清除氧化膜。

称重传感器的激光焊接密封工艺，是在激光焊接机上，利用高能激光脉冲束进行焊接，对弹性元件焊接坡口、膜片尖角的要求与电子束焊接相同。焊接时脉冲激光电源首先把氙灯点亮，使其处于预

燃状态，计算机控制激光电源，使氙灯脉冲放电，从而形成一定频率、一定脉宽的光波，该光经过聚光腔辐射到激光晶体上并使其发光，再经过激光谐振腔谐振后发出波长为 $1.06\mu\text{m}$ 的激光，激光经扩束、反射、聚焦后射向被焊接称重传感器的焊缝上，焊缝吸收光能，局部产生高热而熔化，使弹性元件和膜片、外壳熔化合为一体。激光焊接的特点是：

(1) 激光焊接是不接触焊接，可将弹性元件放在透明真空罩内，实现真空焊接密封；

(2) 能量集中，热影响区小，焊接的弹性元件、膜片和外壳不变形；

(3) 可熔合不同金属和合金，并能完成不同材料的异型焊接，例如金属与陶瓷等；

(4) 没有焊渣，也不需要清除氧化膜。

经过电子束焊接或激光焊接的称重传感器，再实施抽真空充惰性气体（氮气）新工艺，其防护密封效果更好，环境适应性更强，是提高称重传感器稳定性和可靠性的有效途径。

3 称重传感器环境适应性的考核条件

称重传感器环境适应性的考核条件，就是OIML国际建议R60-1Edition2017(E-cn)《称重传感器计量要求》中对称重传感器量程稳定性和耐久性的要求，即“经一段时间使用传感器测量范围内输出的能力”和“传感器应具有合适的耐久性，以符合称重传感器预期使用”，并规定了几项试验内容，其中就包括：3.1.7 性能试验“检验传感器是否能完成指定功能的试验”；3.7.16 显著耐久性误差，即“超出相应建议规定的耐久性误差”；3.7.18 量程稳定性，即“经一段时间使用传感器测量范围内输出的能力”；3.7.19 温度对最小静载荷输出的影响，即“因环境温度变化引起的最小静载荷输出信号的变化”；3.7.20 温度对灵敏度的影响，即“因环境温度变化引起的灵敏度变化”。上述试验内容可以理解为要求称重传感器具有量程稳定性和长期可靠性不可缺少的考核。因为经过一段时间使用称重传感器测量范围内输出能力，实际上就是称重传感器输出灵敏度的稳定性，输出灵敏度稳定才能保证称重传感器可靠地工作。根据产品可靠性定义和称重传感器的实际应用情况，其可靠性可以理解为称重传感器在规

定的使用条件下和一定的时间内完成规定功能的能力或概率。具体来说，就是在规定的使用条件下和一定时间内，称重传感器保持其各项技术性能并稳定工作的能力，多以无故障工作时间或可靠寿命来度量。称重传感器主要用于各种电子衡器和电子称重系统，要求综合性能好且稳定，即非线性、滞后误差和灵敏度温度影响等偏差之和，应处于最大允许误差带之内，才能准确地完成称重计量任务。

称重传感器的量程稳定性分为初始不稳定期、稳定期和疲劳不稳定期。初始不稳定期是由于弹性元件经过锻造、机械加工、热处理以及表面打磨、喷砂、贴片等工艺产生残余应力，并不断地松弛和释放，使零点和灵敏度发生变化，造成称重传感器性能波动。它可以通过对元器件实施环境应力筛选，对称重传感器进行老化和稳定处理，尽量释放和消除残余应力，在生产过程中度过初始不稳定期，出厂后就开始进入能够稳定可靠工作的稳定期。在经历了长时期的无故障工作后，由于防护密封材料老化，电路补偿与调整元器件损耗，电阻应变计疲劳等原因，使称重传感器产生性能波动，工作不稳定直至失效，称为疲劳不稳定期。只有采取了科学、有效的防护密封和稳定性处理工艺，才能确保称重传感器具有满足稳定性和可靠性要求的稳定工作期，达到OIML国际建议R60-1、R60-2(2017)《称重传感器计量要求》的相关要求。

称重传感器的稳定性和可靠性对于各类电子衡器和电子称重系统是至关重要的，它决定整个产品和系统的稳定性。尽管OIML国际建议R60-1Edition2017(E-cn)《称重传感器计量要求》中，对称重传感器量程稳定性和耐久性提出了要求，并规定了几项试验内容，但目前国内外对称重传感器的量程稳定性和耐久性尚无统一的测试方法。世界各国的称重传感器制造企业都承认量程稳定性是重要的质量指标，但在产品样本和使用说明书中却很少给出量程稳定性指标。究竟如何认识称重传感器的量程稳定性呢？可以借鉴航天载荷传感器稳定性的定义和要求讨论此问题，就是在一定时间内和相同条件下称重传感器零点和灵敏度的变化程度，也可以说是零点和灵敏度的稳定性。

所谓零点稳定性，就是称重传感器在一定时间

内和相同条件下零点输出的最大变化量。零点输出稳定性 Z_w 用%FS / 三个月, %FS / 半年, %FS / 一年等表示, 可用下式计算:

$$Z_w = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_0} \times 100\%$$

式中: Z_2 ——在规定时间内零点输出的最大值;
 Z_1 ——在规定时间内零点输出的最小值;
 Z_0 ——零点输出的标准值。

测试零点时, 在规定的时间内至少应有时间间隔基本相等的10次以上数据, 取其中的最大和最小值进行计算。

所谓灵敏度稳定性, 就是称重传感器在一定时间内和相同条件下灵敏度的相对变化量。灵敏度稳定性 S_w 用%FS / 三个月, %FS / 半年, %FS / 一年等表示, 在原“负荷传感器”国家计量检定规程(JJG391—85)中明确规定按下式计算:

$$S_w = \frac{S_1 - S_2}{S_2} \times 100\%$$

式中: S_1 ——上一次检定时测得的灵敏度值;
 S_2 ——本次检定时测得的灵敏度值。

测试灵敏度时, 若两次测试温度无法保持相同, 允许根据实际测得的灵敏度温度系数进行计算修正。

跟踪测试是经济适用的研究称重传感器可靠性的简易方法, 国内外一些企业在这方面进行了两种工作。一种是在试验室环境条件下, 对称重传感器的储存寿命进行了跟踪测试。一种是在使用环境条件下对称重传感器的无故障工作时间, 即使用寿命进行了跟踪测试。建议生产企业与使用单位密切配合, 互相进行信息交流, 积累称重传感器的无故障工作时间等可靠性数据。

为了确保称重传感器具有优良的环境适应性, 有必要在使用条件下预测称重传感器的工作寿命。在多次国际学术会议和学术交流中, 各国专家一致认为就称重传感器的工作原理、结构特点、制造工艺和应用条件而言, 它应属于半永久性的工作器件, IP67、IP68 防护密封等级的称重传感器应能稳定可靠的工作10年以上, 这就是称重传感器环境适应性应达到的标准。

4 结束语

近些年来, 由于称重传感器弹性元件结构更合理, 电路补偿技术与工艺更完善, 大幅度提高称重传感器准确度的必要性已相对减弱, 作为一个应用性很强的器件, 解决它在应用过程中出现的种种问题, 提高环境适应性, 是近年来称重传感器技术发展的明显特点。其研究课题主要体现在称重传感器总体结构的最佳化设计, 弹性元件与引入载荷的压头、承受载荷的底垫、安装平台之间的技术密集型组合; 支持工艺、基础工艺、核心工艺、特殊工艺的科学运用和集成。除解决称重传感器内在机理上的自身稳定性问题外, 应特别重视称重传感器对外部环境条件的适应性, 即对客观环境条件和感应环境条件的适应性。为此, 必须重视称重传感器的耐环境条件设计, 可靠性设计、控制和管理, 加强防护与密封技术与工艺研究, 尽快提高称重传感器的长期稳定性和工作可靠性, 以跟上国际称重传感器技术发展潮流, 在国内外激烈的竞争中立于不败之地。

参考文献

- [1] Best compression load cell when push comes to shove. Weighing & Measurement, 2005—6.
- [2] OIML R60-1、R60-2 Edition 2017(E-CN) 称重传感器计量要求.
- [3] 陈裕全(美国), 葛文勋. 现代传感器原理及应用[M]. 科学出版社, 2007年8月.
- [4] 周旭. 传感器技术[M]. 国防工业出版社, 2007年1月.

作者简介: 刘九卿(1937—), 男(汉族), 1960年毕业于吉林工业大学。中国航天科技集团公司下属中国运载火箭技术研究院第七零二研究所研究员, 享受国务院政府特殊津贴专家。现为中国衡器协会技术顾问, 衡器技术专家委员会顾问, 《衡器》杂志编委。编著《电阻应变式称重传感器》《国家职业资格培训教程——称重传感器装配调试工》, 在有关杂志上共发表学术论文140多篇。