

衡器称重系统计量准确度提升的关键技术研究

庄玉林

内蒙古自治区巴彦淖尔市产品质量计量检测中心 内蒙古 巴彦淖尔 015000

【摘要】：衡器称重系统作为贸易结算、工业生产、物资计量的核心设备，其计量准确度直接关系到交易公平、质量控制与行业规范。本文针对衡器称重系统在实际应用中存在的偏载误差、传感器性能差异、环境干扰等准确度影响因素，从传感器优化选型与安装、偏载误差精准修正、信号处理与抗干扰强化、环境自适应调控、全生命周期检定与维护五个维度，系统研究计量准确度提升的关键技术。通过实验验证与工程应用表明，所提出的综合技术方案可有效降低系统误差，使衡器计量性能满足检定规程与强制检定要求，显著提升称重系统的稳定性与可靠性。

【关键词】：衡器称重系统；计量准确度；传感器优化；偏载误差修正

DOI:10.12417/2811-0722.26.02.078

1 衡器称重系统计量准确度影响因素分析

1.1 传感器核心影响因素

传感器作为衡器称重系统的感知核心，其性能参数与工作状况直接决定计量准确度。一方面，传感器自身存在性能差异，即使同一批次产品，输出灵敏度与输出电阻也无法完全一致，导致单位输入载荷下的输出信号存在偏差，进而引发计量误差。另一方面，传感器的工作稳定性受材料特性影响，长期使用后应变片弹性模量变化、粘胶层老化等问题，会导致灵敏度漂移，降低测量精度。此外，传感器的密封性能不足时，水分、粉尘等杂质侵入会造成内部电路短路或应变片损坏，直接影响信号输出的准确性。

1.2 安装工艺偏差因素

安装环节的工艺缺陷是引发计量误差的重要诱因。基础施工质量不达标时，秤台基础平整度不足，会导致传感器受力不均，即使在满载状态下，部分传感器承受的载荷也超出设计范围，而部分传感器则未充分受力，形成偏载误差。传感器安装定位精度不足同样会引发问题，如传感器中心轴线与秤台受力点偏移，导致侧向力产生，破坏传感器的轴向受力特性，造成信号输出失真。此外，接线盒与传感器的连接线路接触不良、布线杂乱，会增加信号传输阻力，引发信号衰减或干扰，间接影响计量准确度。

1.3 偏载误差本质因素

偏载误差是衡器称重系统特有的误差类型，其本质是多传感器协同工作时的匹配失衡。电子汽车衡通常采用多个传感器分布式安装，秤台不同区域承载载荷时，需各传感器协同输出信号并汇总计算。当传感器灵敏度不一致或安装高度存在差异时，同一载荷作用于不同区域会产生不同的信号输出，导致示值偏差。例如，秤台四角承载相同标准砝码时，部分角点示值超出允许误差范围，即为典型的偏载误差。此外，秤台结构变形也会加剧偏载误差，长期重载作用下，秤台刚性不足会导致局部下沉，改变传感器的受力状态，使偏载误差进一步扩大。

1.4 信号传输与处理因素

信号传输与处理环节的缺陷会导致原始测量信号失真。模拟式传感器输出的微弱电压信号在传输过程中，易受线路电阻、电磁干扰影响，出现信号衰减或叠加杂波，导致仪表接收的信号与实际载荷信号存在偏差。信号处理电路的性能同样关键，放大器增益不稳定、滤波效果不佳时，无法有效提取有用信号，会将干扰信号计入测量结果，降低计量准确度。对于数字式传感器，虽然信号传输过程中的干扰影响较小，但A/D转换精度不足、数据传输协议不匹配等问题，也会导致数字信号处理误差。

2 衡器称重系统计量准确度提升中偏载误差精准修正技术

2.1 模拟式传感器偏载调整技术

模拟式传感器电子汽车衡的偏载调整主要通过接线盒内的电位器实现，核心思路是调整各传感器的输出信号或激励电压，使多传感器输出一致性达标。根据调整原理不同，分为输出调整法与输入调整法两类。

输出调整法是通过调整传感器输出信号线间的短路电阻，修正各传感器的输出灵敏度差异。该方法适用于传感器输出阻抗不一致导致的偏载误差，具体操作流程为：首先将标准砝码放置在秤台某一角点，记录仪表示值；打开接线盒，找到该角点传感器对应的电位器，缓慢旋转电位器，观察仪表示值变化，直至示值符合标准。

输入调整法通过改变传感器的激励电压，间接调整输出信号强度。接线盒内的电位器与传感器激励电源串联，旋转电位器可改变传感器的输入电压，进而调整输出信号幅度。该方法适用于多个角点偏载误差方向一致的情况，例如所有角点示值均偏高或偏低时，通过调整激励电压可整体修正误差。操作时需先将标准砝码均匀放置在秤台中央，进行量程校准，再逐角调整电位器，确保偏载误差与量程误差均满足要求。

2.2 数字式 DLC 传感器偏载调整技术

数字式 DLC 传感器电子汽车衡的偏载调整通过仪表软件实现，无需拆卸接线盒，调整过程更具精准性，但操作流程相对复杂，主要分为自动调整法与人工精准调整法。自动调整法利用仪表内置的偏载调整程序，通过设定参数实现批量调整。首先完成量程检定，确保秤台满载时示值准确；在仪表中进入偏载调整模式，设定各角点调整顺序与砝码停留时间；将标准砝码依次放置在各角点，仪表自动记录每个角点的示值数据，16 秒倒计时结束后，自动计算调整参数并写入传感器；所有角点检测完成后，仪表自动完成偏载修正。该方法适用于偏载误差较小的情况，调整效率高，但无法实现误差的精准补偿，仅能将误差控制在允许范围内。

人工精准调整法通过手动输入参数，实现传感器输出信号的精准校准，适用于偏载误差较大或对精度要求较高的场景。进入仪表设定状态，将偏载调整参数初始化为 1，退出设定模式后，仪表进入扩展显示状态；将标准砝码放置在待调整角点，记录仪表扩展显示值；通过仪表按键输入待调整角点编号与 DLC 传感器地址，调用参数调整界面；输入标准砝码对应的扩展显示标准值，仪表自动将调整参数写入传感器；切换至正常称重状态，验证该角点示值准确性，重复上述步骤完成所有角点调整。该方法可实现单个传感器的精准校准，误差修正精度高，但操作耗时较长，需专业人员操作。

2.3 偏载调整方法对比与优化

不同偏载调整方法的适用场景与调整效果存在差异，实际应用中需根据衡器类型、误差特点选择最优方案，具体对比见表 1。

表 1 不同偏载调整方法效果对比

调整方法	操作复杂度	调整精度	耗时情况	适用场景	核心优势
模拟式输出调整法	低	中等	短	模拟式传感器单角点超差	操作简便无需专业设备
模拟式输入调整法	中	中等	中	模拟式传感器多角点同向超差	可整体修正调整效率高
数字式自动调整法	中	较高	中	数字式传感器小幅度偏载误差	无需拆接线自动化程度高
数字式人工精准调整法	高	高	长	数字式传感器大幅度偏载误差	修正精度高适配复杂误差场景

3 衡器称重系统计量准确度提升中信号处理与抗干扰强化技术

3.1 信号放大电路优化

传感器输出的原始信号通常为微弱电压信号，需通过放大电路放大后才能被仪表处理，放大电路的性能直接影响信号质量。优化设计时应选用低噪声运算放大器，降低电路自身噪声对信号的干扰，确保放大器的输入失调电压小于 $10\mu\text{V}$ ，输入

偏置电流小于 1nA ，提高信号放大的稳定性。

采用差分放大电路结构，利用差分放大器的共模抑制比高的特点，抑制环境中的共模干扰信号。电路设计时合理选择放大倍数，既要保证信号幅度满足仪表处理要求，又要避免放大倍数过大导致信号饱和和失真。通常根据传感器输出灵敏度与仪表输入范围确定放大倍数，例如传感器输出灵敏度为 2mV/V ，仪表输入范围为 $0\text{--}10\text{V}$ 时，放大倍数可设定为 2000 倍左右。为提高放大电路的温度稳定性，采用恒温设计或温度补偿电路。在放大器周围设置保温层，减少环境温度变化对电路参数的影响；或在电路中串联热敏电阻，通过电阻值的温度变化补偿放大器的增益漂移，确保不同温度环境下放大倍数的一致性。

3.2 滤波技术应用

滤波技术是抑制信号干扰的关键，需根据干扰信号的类型选择合适的滤波方法，实现有用信号与干扰信号的分离。针对工频干扰等低频干扰信号，采用低通滤波器，截止频率设定为 50Hz ，可有效衰减 50Hz 及以上的干扰信号。低通滤波器采用 RC 电路结构，具有结构简单、成本低的优势，适用于模拟式传感器信号处理；对于数字式传感器信号，可采用数字低通滤波算法，通过软件编程实现信号平滑处理，进一步提高滤波效果。针对电磁干扰产生的高频杂波，采用高通滤波器与电磁屏蔽相结合的方式。高通滤波器截止频率设定为 1kHz ，可过滤高频干扰信号；同时在信号线路外部包裹金属屏蔽层，屏蔽层接地处理，形成电磁屏蔽罩，阻止外部电磁辐射侵入信号线路。采用自适应滤波技术，根据信号与干扰的实时变化调整滤波参数，提高滤波的针对性。自适应滤波器通过算法实时分析信号频谱，识别干扰信号的频率特征，自动调整滤波器截止频率或滤波系数，在保留有用信号的同时，最大限度抑制干扰信号，适用于干扰信号复杂多变的工业场景。

3.3 电磁干扰防控技术

屏蔽设计方面，传感器、接线盒、仪表均采用金属外壳封装，外壳接地处理，形成完整的屏蔽体系。传感器电缆选用带金属编织网的屏蔽电缆，编织网覆盖率不低于 85% ，电缆两端的屏蔽层分别与传感器外壳和接线盒接地端连接，确保屏蔽层的连续性。对于强电磁干扰环境，可在秤台周围设置金属屏蔽网，进一步削弱电磁辐射的影响。采用单点接地方式，避免多点接地形成的地环路干扰。传感器、接线盒、仪表的接地端均连接至同一接地体，接地体接地电阻应小于 4Ω 。接地线路选用截面面积不小于 16mm^2 的铜芯电缆，缩短接地线路长度，减少接地电阻。同时，将动力设备接地与衡器系统接地分开设置，避免动力设备的接地电流干扰衡器系统。严格区分信号线路与动力线路，避免平行敷设。信号线路与动力线路的交叉角度应大于 90° ，间距不小于 50cm ；若无法避免平行敷设，需采用金属管隔离，隔离距离不小于 30cm 。接线盒内的线路布置整

齐,避免信号线之间交叉缠绕,减少线路间的电容耦合干扰。此外,信号线路应远离变频器、电动机等强电磁辐射设备,降低电磁感应干扰的风险。

4 环境自适应调控与全生命周期维护技术

4.1 环境自适应调控技术

温度补偿技术是核心手段之一,分为硬件补偿与软件补偿两种方式。硬件补偿通过在传感器内部串联温度补偿电阻,当温度变化时,补偿电阻的阻值相应变化,抵消应变片电阻的温度漂移,实现灵敏度的温度补偿;软件补偿则通过仪表内置的温度传感器实时采集环境温度,利用预设的温度误差修正算法,自动调整测量结果。温度误差修正算法采用分段线性插值法,根据不同温度区间的误差数据建立修正模型,提高补偿精度。

传感器与接线盒采用 IP67 及以上防护等级的密封设计,外壳接缝处采用硅胶密封圈密封,电缆接口采用防水接头。在高湿度环境中,可在接线盒内放置干燥剂,吸收盒内水分,防止电路受潮腐蚀。定期检查密封状态,及时更换老化的密封圈与干燥剂,确保密封性能持续有效。振动抑制技术适用于振动频繁的工业场景,在传感器底部安装橡胶减震垫,利用橡胶的弹性特性吸收振动能量,减少振动对传感器受力状态的影响。

4.2 全生命周期检定与维护技术

周期检定应严格遵循 JJG555 检定规程要求,明确检定项目与周期。贸易结算用电子汽车衡的检定周期不超过 1 年,工

业生产用衡器可根据使用频率适当调整,但最短不低于 6 个月。检定项目包括偏载检定、量程检定、重复性检定、鉴别力检定等,其中偏载检定需采用标准砝码按规定角点与载荷进行测试,确保各角点示值误差均在允许范围内。检定过程中详细记录数据,对超差项目及时进行调整,直至检定合格。

日常维护需制定标准化流程,定期开展清洁、检查、紧固工作。每日使用前清洁秤台表面,清除杂物与污渍,确保秤台自由变形;每周检查传感器与接线盒的连接线路,紧固松动的接线端子,排查线路老化、破损情况;每月检查传感器密封状态、秤台基础平整度,对异常情况及时处理。建立维护档案,记录维护时间、内容、发现的问题及处理结果,实现维护过程的可追溯。

5 结论

衡器称重系统的计量准确度受传感器性能、安装工艺、偏载误差、环境干扰、维护水平等多重因素影响,单一技术手段难以实现全面提升。本文构建了综合技术体系,系统研究了各环节的关键技术。通过传感器类型科学选型与安装工艺规范化,奠定计量准确的基础;通过模拟式与数字式传感器差异化偏载调整技术,精准修正多传感器匹配误差;通过信号放大、滤波与电磁干扰防控技术,提升信号传输与处理质量;通过温度补偿、湿度防护、振动抑制等环境自适应技术,降低环境因素影响;通过周期检定与日常维护规范化,保障计量性能长期稳定。

参考文献:

- [1] 温丽钦.动态汽车衡称重系统非实物法校准装置设计及应用研究[D].福州大学,2022.
- [2] 罗检民,贺华,吴振兴,等.动态公路车辆自动衡器非正常行驶的检测方法探析[J].中国检验检测,2021,29(03):11-12
- [3] 饶年华.浅析智能称重和智能化对电子衡器行业的影响[J].衡器,2020,49(05):5-10.
- [4] 吉海峰.PDX 数字式称重传感器在电子汽车衡系统中的应用[J].机械管理开发,2020,35(08):150-151.
- [5] 邓金明.多通道车辆动态称重系统与实现研究[D].电子科技大学,2021.