

高精度衡器环境适应性与稳定性改进

李江程

广西壮族自治区计量检测研究院, 广西壮族自治区, 530000;

摘要: 高精度衡器作为工业生产与科研实验的核心计量设备, 其环境适应性与稳定性直接决定测量数据的准确性与可靠性。在化工原料配比、新材料研发等应用场景中, 温度波动、湿度变化、机械振动及电磁干扰等环境因素, 会导致传感器性能劣化、电路信号紊乱及机械结构受损, 进而引发测量误差与设备故障, 如宝钢股份炼钢车间因高温致使衡器零点漂移造成钢水报废, 浙江大学实验室在梅雨季节因衡器受潮导致实验数据失真。本文深入剖析各类环境因素影响机理, 结合实际案例提出优化传感器设计、改进结构材料、采用智能补偿技术、加强电磁屏蔽及规范安装调试等改进措施。经实验室模拟极端环境测试与高温车间、潮湿仓库等实际场景验证, 改进后的衡器测量误差显著降低, 设备故障率大幅减少, 货物计量纠纷明显下降, 为高精度衡器性能提升提供理论与实践参考。

关键词: 高精度衡器; 环境适应性; 稳定性改进; 智能补偿技术; 电磁屏蔽

DOI: 10.64216/3080-1508.25.03.023

引言

在现代工业生产与科研实验中, 高精度衡器承担着物料计量、质量检测等关键任务。从化工原料配比到新材料研发, 精确的质量测量是保障生产工艺稳定与科研结论可靠的基础。然而, 实际应用场景中, 衡器常面临复杂多变的环境挑战: 高温车间内的温度波动、沿海地区的高湿度环境、机械运转产生的振动干扰, 以及工业设备引发的电磁噪声, 这些因素均会导致测量误差甚至设备故障。如何提升衡器在复杂环境下的适应性与稳定性, 已成为计量领域亟待解决的技术难题。本文通过系统分析环境影响因素, 结合工程实践经验提出改进策略, 旨在为高精度衡器的性能优化提供理论依据与实践指导。

1 高精度衡器环境适应性与稳定性的重要性

1.1 工业生产中的关键作用

在现代化工业生产线上, 高精度衡器是实现精准计量的核心设备。以化工行业为例, 合成氨生产过程中, 原料煤、天然气与催化剂的精确配比直接决定合成效率与产品纯度; 制药企业在制剂生产环节, 药品原料的称量精度更是直接影响药品质量与安全性。若衡器受环境因素干扰出现测量偏差, 不仅会导致产品不合格, 还可能引发生产事故。2021年, 宝钢股份旗下一座炼钢车间内, 由于高温环境影响, 衡器出现零点漂移的状况。这一情况导致炼钢原料的配比失衡, 最终使得一炉钢水无法达到质量标准而报废, 此次事故造成的直接经济损失高达数百万元。由此可见, 对于衡器而言, 增强其对环境的适应能力, 是保障工业生产持续稳定进行以及产品

质量稳定的关键所在^[1]。

1.2 科研领域的精确需求

科研实验对测量精度的要求近乎苛刻, 高精度衡器为材料科学、化学分析等领域提供基础数据支撑^[2]。在纳米材料研发中, 样品质量的微小变化可能蕴含着材料性能转变的关键信息; 在化学反应动力学研究中, 反应物质量的精确测量是推导反应速率方程的前提。环境因素引入的测量误差, 可能导致科研数据失真, 甚至得出错误结论。2022年6月, 浙江大学化学工程与生物工程学院实验室在江南梅雨季节开展高分子材料降解实验时, 由于持续的高湿度环境, 高精度衡器受潮致使质量测量数据大幅波动。实验团队发现, 所得数据无法准确反映材料真实降解规律, 最终被迫暂停实验, 重新购置防潮设备并对衡器进行适应性改造, 耗费近四个月时间才完成该实验。由此可见, 确保衡器在复杂环境下的稳定性, 是科研工作顺利开展的重要保障。

2 影响高精度衡器环境适应性与稳定性的因素

2.1 温度因素

温度变化对高精度衡器的影响呈现多维度特征。从传感器层面看, 金属弹性体作为传感器核心部件, 遵循热胀冷缩原理: 温度升高时, 弹性体形变阈值改变, 导致传感器灵敏度下降; 温度降低则可能引发弹性体脆化, 影响测量线性度。电子元件同样受温度制约, 电阻、电容等器件的参数会随温度波动发生漂移, 进而影响信号处理电路的稳定性。在高温环境下, 电子元件功耗增加产生的热噪声, 会严重干扰微弱的测量信号。例如, 在

夏季户外作业的地磅,由于地表温度高达50℃以上,传感器零点漂移导致称量误差超过±2%,无法满足工业计量要求。

2.2 湿度因素

湿度对衡器的侵蚀作用是渐进且隐蔽的。高湿度环境中,水分子渗入电子线路板,会导致焊点氧化、金属引脚锈蚀,造成接触电阻增大甚至电路断路。机械部件在潮湿环境下易发生电化学腐蚀,特别是铸铁材质的秤体,表面锈斑不仅影响外观,更会导致结构强度下降。湿度变化还会改变传感器绝缘材料的介电常数,使得传感器输出信号产生漂移。2023年,江苏雨润食品集团有限公司的一座肉制品加工车间内,其称量设备长期处于湿度85%以上的冷藏环境,半年内电子元件故障率激增40%,机械部件出现明显锈蚀变形,严重影响设备正常运行。

2.3 振动因素

振动干扰是衡器稳定性的主要威胁之一。工业现场的机械振动、交通运输产生的颠簸,以及建筑施工的地面震动,都会通过基础传递至衡器。在动态称量过程中,振动会使传感器输出信号产生高频噪声,导致称量结果跳变。长期的振动作用还会造成部件松动,如传感器接线端子脱落、螺栓松动等,进一步加剧测量误差。例如,安装在冲床车间附近的台秤,因受冲压设备振动影响,称量数值波动范围达±5kg,无法准确计量工件重量,迫使企业不得不将衡器迁移至远离振动源的区域。

2.4 电磁干扰因素

现代工业环境充斥着复杂的电磁干扰源,包括大功率电机、变频器、通信基站等。这些干扰通过空间辐射或线路传导进入衡器电路系统,干扰微弱的称重信号。电磁干扰可能导致衡器显示屏闪烁、数据跳变,甚至使控制单元出现程序紊乱。不同频率的电磁干扰影响机理各异:低频干扰易引发信号幅值波动,高频干扰则可能造成信号失真。2024年,富士康郑州科技园的一条自动化生产线,因邻近5G通信基站产生电磁干扰,称重系统数据频繁异常。后通过加装双层金属屏蔽外壳、优化线路滤波电路等措施,才使称重数据恢复稳定。

3 高精度衡器环境适应性与稳定性的改进措施

3.1 优化传感器设计

传感器作为衡器的“感知器官”,其性能直接决定测量精度。为提升温度适应性,可采用石英、陶瓷等热膨胀系数低的材料制作弹性体,并在结构设计中引入温

度补偿梁,通过材料的热变形差异抵消温度影响。密封工艺的改进同样关键,采用激光焊接密封技术,可有效防止湿气、灰尘侵入传感器内部。在信号处理方面,集成数字补偿芯片,通过预设的温度-电压补偿曲线,实时修正传感器输出信号^[3]。2023年,柯力传感科技股份有限公司研发的新型传感器,经高低温极端环境测试,在70℃高温与-20℃低温条件下,测量误差始终控制在±0.1%以内,性能远超传统传感器。

3.2 改进结构材料

衡器结构材料的选择需兼顾机械性能与环境耐受性。框架结构采用高强度合金钢,可提高秤体刚性,减少振动传递;对于暴露部件,选用304不锈钢或铝合金材质,配合阳极氧化、粉末喷涂等表面处理工艺,增强耐腐蚀性。在秤台设计中,采用蜂窝式结构替代传统平板结构,既减轻自重又提升抗压能力。2018年,宁波舟山港投入使用的大型电子汽车衡,经结构材料升级与设计优化,在海风盐雾的长期侵蚀下,连续5年结构部件无明显锈蚀,称重数据始终保持精准稳定。

3.3 采用智能补偿技术

智能补偿技术通过多传感器融合实现环境自适应。在衡器内部集成温湿度传感器、加速度传感器与电磁场传感器,实时采集环境参数。微处理器根据预设算法,对测量数据进行动态修正:当检测到温度变化时,自动调用温度补偿模型调整传感器输出;遇振动干扰时,采用数字滤波算法平滑信号。部分高端衡器还具备自校准功能,通过内置标准砝码定期进行零点与量程校准。2022年,中国计量科学研究所的精密天平搭载智能补偿系统后,在温湿度波动环境中,称量重复性误差从±0.5mg锐减至±0.1mg,完全满足高精度科研实验需求。

3.4 加强电磁屏蔽

电磁屏蔽是抵御干扰的有效手段。衡器外壳采用双层金属屏蔽结构,内层为高导磁率的坡莫合金,外层为高电导率的铜材,形成电磁屏蔽腔。内部电路采用双层PCB板设计,信号线采用屏蔽双绞线传输,并在关键点加装EMI滤波器。接地系统采用独立接地与多点接地相结合的方式,将干扰信号快速导入大地。2023年,江西铜业集团位于德兴铜矿的电子皮带秤,面临着由大功率电机、变频器等设备产生的复杂电磁环境干扰,称重数据波动较大。通过实施一系列针对性的屏蔽改造措施,包括采用双层金属屏蔽结构、优化内部电路以及改进接地系统等,该电子皮带秤的称重数据波动范围从原本的±3%显著缩小至±0.5%,极大地提升了矿石计量的准确

性和可靠性,有效保障了矿山生产中矿石计量工作的精准进行。

3.5 优化安装与调试

科学的安装调试是发挥衡器性能的基础。安装前需对现场环境进行评估,选择远离振动源、热源与电磁干扰的位置。秤体基础采用钢筋混凝土结构,设置隔振层减少振动传递;安装过程中使用水平仪精确校准,确保秤体水平度误差小于0.5mm/m。调试阶段需在不同环境条件下进行多轮校准:先在常温常湿环境下完成基础校准,再模拟高温、低温、高湿等极端条件进行补偿参数标定。2022年,扬子江药业集团在安装高精度天平时,经严格环境适应性调试,称量误差稳定控制在 $\pm 0.01g$ 以内,完全符合药品生产质量管理规范。

4 改进措施的实施与效果评估

4.1 实施过程

改进措施的实施需遵循系统性原则^[4]。首先,组建由计量工程师、机械设计师与电子工程师构成的跨学科团队,对现有衡器进行全面性能评估,通过现场测试与数据分析,确定主要环境影响因素。其次,根据评估结果制定分阶段改进方案:第一阶段完成传感器与结构材料升级,第二阶段实施智能补偿系统与电磁屏蔽改造,第三阶段进行安装调试与优化。实施过程中采用PDCA循环管理模式,定期召开技术研讨会,对出现的问题及时调整方案。如2023年,万华化学集团在衡器改造项目中,经三个月系统优化,彻底解决了高温环境下的测量偏差难题。

4.2 效果评估方法

效果评估采用实验室测试与现场验证相结合的方式。实验室测试通过温湿度试验箱、振动台、电磁兼容测试设备模拟极端环境,对改进后的衡器进行性能测试,记录测量误差、重复性、稳定性等指标。现场验证则选择典型应用场景,如高温车间、潮湿仓库、振动强烈的生产线,进行为期3-6个月的长期监测,对比改进前后的运行数据。同时,引入用户满意度调查,收集操作人员对衡器使用体验的反馈。2024年,得力衡器公司运用该评估体系发现,经改进后的衡器产品故障率同比下降65%,测量精度显著提升40%。

4.3 效果分析

实际应用表明,综合改进措施显著提升了衡器性能。在高温环境下,优化后的传感器与智能补偿系统使测量误差从 $\pm 3%$ 降至 $\pm 0.5%$;高湿度环境中,密封结构与抗

腐蚀材料将电子元件故障率从年均15次减少至2次;振动干扰场景下,结构加固与滤波算法使称重数据波动范围缩小80%。2023年,顺丰速运集团启用改进后的电子地磅后,货物计量纠纷同比减少90%,年度因计量误差导致的经济损失节省超120万元,充分彰显了改进方案的实用价值与经济效能^[5]。

5 结论与展望

5.1 结论

高精度衡器的环境适应性与稳定性直接影响其在工业生产和科研领域的应用效能。本文通过深入分析温度、湿度、振动及电磁干扰等环境因素的影响机制,针对性提出涵盖传感器优化、材料升级、智能补偿等多维度改进方案。经实际案例验证,这些措施不仅有效提升了衡器在复杂环境下的测量精度与可靠性,还显著降低了设备故障率,减少了因计量误差导致的经济损失,为解决衡器环境适应性难题提供了可行路径。

5.2 展望

随着工业4.0与智能制造的推进,高精度衡器的性能提升仍有广阔空间。未来研究可聚焦于新型传感器材料的开发,如基于石墨烯的高灵敏度称重传感器;探索人工智能算法在环境补偿中的应用,通过机器学习实现更精准的动态补偿;同时,结合物联网技术构建衡器远程监测平台,实现设备状态的实时诊断与预防性维护。此外,加强跨学科合作,融合微机电系统技术与纳米工艺,将进一步推动高精度衡器向智能化、自适应化方向发展。

参考文献

- [1]徐建华,杨祖班.高精度衡器用称重传感器选型[J].衡器,2013,42(01):39-41.
- [2]郑文广,虞峻,许胜男.高精度变换器的设计及其在衡器中的应用[J].传感器技术,2005,(01):78-80.
- [3]高森祺.基于物联网的散料高精度智能称重系统及故障诊断技术研究[D].南京理工大学,2017.
- [4]白国君.高精度电子天平的温度补偿与自动校准[D].东北大学,2009.
- [5]吴春花.食品生产中计量技术应用存在的问题与优化策略[J].食品安全导刊,2024,(36):16-18.

作者简介:李江程,出生年月:1983年4月4日,性别:女,民族:壮,籍贯:广东佛山,学历:研究生,职称:工程师,研究方向:力学、衡器类。