

智能传感器数据采集精度校准方法研究

郭振华

赤峰市产品质量检验检测中心 内蒙古 赤峰 024005

【摘要】：智能传感器属于物联网数据采集体系的基础单元，它所具有的采集精度好坏，直接影响到工业检测、商贸计量、智能监测这些场景下的数据是否可靠。针对传统人工离线校准效率低、时效性差、不能满足网络化智能传感器动态监测的需求，本文利用地方计量技术规范，以网联电子秤智能称重传感器为研究对象，分析传感器数据采集误差的主要来源，研究基于自校准的远程精准校准方法，规范校准流程、量化精度评价指标。经过实际校准试验和数据对比，证明该方法可以有效地降低示值误差，提高数据的重复性和长期稳定性，可以满足常态化的、网络化的、自动化的传感器精度控制要求，可以给各种智能传感器的数据校准工作提供技术参考。

【关键词】：智能传感器；数据采集；精度校准；远程校准；误差修正

DOI:10.12417/2705-0998.26.13.058

1 智能传感器采集误差来源分析

1.1 环境误差

环境误差属于影响智能传感器瞬时采集精度和数据重复性的主要外部因素，属于不可避免的客观误差。智能称重传感器通过感应元件感应重力信号来完成数据采集，对周边运行环境比较敏感。设备运行时现场气流扰动、工业设备运转引发的机械震动、强电磁设备产生的电磁辐射干扰、环境温湿度出现剧烈变化等情况，都会对传感器感应元件的信号传递和模数转换造成影响。

无规律、瞬时性的环境干扰会使得单次采集的数据波动太大，从而影响数据的重复性，长期持续性的环境偏移、温湿度梯度的变化，会使传感器基准参数慢慢漂移，导致设备长期稳定性下降，产生系统性数据偏差。这类误差具有随机性、波动性特点，在校准过程中要加以重视并予以修正的属于基础误差的一种。

1.2 设备固有误差

设备固有误差是指传感器本身的硬件本身所具有的基础性误差，是出厂时就已存在的，长期不变的固定误差，主要是由于生产制造和硬件配置造成的。智能传感器集成感应传感模块、机械传动结构、数据处理芯片和内置标准计量器件，在生产工艺精度、元件加工误差、整机装配偏差等各方面的影响下，设备出厂时就存在固定的计量基准偏差。自校准型网联传感器利用内置的标准砝码进行溯源校准，而内部的砝码、传感元件等核心计量器件长时间静置或者微量使用时，会存在物理性能衰减和量值轻微漂移的情况，从而导致数据采集的基准准确性下降，表现为稳定的示值偏差。

1.3 运行工况误差

运行工况误差是传感器在长时间的在线运行中产生的动态误差，也是造成工业、商贸场景下设备精度失准的主要原因。智能网联传感器长时间的 24 小时不间断工作会产生机械结构

磨损、传感参数漂移、零点偏移、信号延迟等种种问题，造成采集的数据逐渐远离标准值。

除了设备实际运行中出现的异常工况外，还会加大精度误差，设备摆放不正、长时间离线待机、频繁启动、超负荷称重等都会引起精度误差。设备倾斜会造成传感器受力结构发生变化，在离线待机后重启容易造成零点漂移，超负荷工作会使元件老化。由于网联智能传感器具有智能化的设计，所以可以及时发现倾斜、开盖、离线等异常工况并发出报警信号，从而为工况误差的迅速查找和改进提供支持。

2 智能传感器精度校准核心技术体系

2.1 校准基础条件

精确校准要符合标准化的环境和设备条件，保证校准数据的有效性。校准环境要排除无干扰气流、强电磁干扰、明显机械震动，保证传感器处在平稳正常工作环境。校准使用的基准设备是内置标准砝码，采用 F2 等级的精准砝码，经过专业的检定并且在有效期内，砝码的标准质量参数提前上传到远程校准平台，给数据校准提供准确的溯源依据。

同时校准前需要对设备状态进行检查，保证传感器正常工作。核查内容有设备开盖自锁报警功能、离线状态监测功能、倾斜异常报警功能，保证传感器出现异常情况时可以及时被记录下来并上传到平台上。另外，传感器要完成周期检定并取得合格证，相关检定资料应齐全地保存下来，才能进行校准工作。

2.2 核心校准指标

根据智能称重传感器的计量特性来制定分级精度判定标准，确定示值误差、重复性、稳定性等的最大允许偏差，量化校准合格的阈值，具体的指标要求见表 1。

表 1 校准点的最大允许误差

最大允许误差	用检定分度值 e 表示的载荷 m
	准确度等级③

$\pm 0.5e$	$0 \leq m \leq 500$
$\pm 1.0e$	$500 < m \leq 2000$
$\pm 1.5e$	$2000 < m \leq 10000$

2.3 标准化校准流程

基于自校准的远程校准流程包含前期核查、指标校准、数据处理、结果判定这四个部分，全部依靠远程平台自动完成，削减了人工干预误差。

第一步就是核查校准前的状态。远程平台对传感器的在线状态、设备倾斜状态、开盖报警记录进行自动检测，核对设备周期检定的有效性，保证所有的功能正常、状态合规之后再开始校准程序。如果有异常报警，要排查故障并整改之后再行校准。

第二步为核心指标的校准。传感器接入远程校准平台之后，接收平台发出校准指令，驱动内置的标准砝码平稳地加到感应支架上，从而进行数据采集。示值误差校准需要重复测量三次，得到三组原始数据，用以计算平均示值偏差。重复性指标用三次测量数据的极值差值来判定，稳定性指标用一年内校准数据的极值差值来判定，可以全面反映短期和长期的精度特性。

第三步是数据运算处理。用标准化公式计算各项校准指标，示值误差为测量平均值与标准砝码量值之差，重复性为三次示值误差的最大值与最小值之差，所有数据由平台自动运算、存储、汇总，防止人工计算误差。

第四步就是结果判定和记录。对照精度判定标准对校准结果进行判定，并记录设备开盖报警等异常情况，形成完整的校准记录，校准合格后生成电子校准证书，不合格设备启动异常处理程序。

2.4 校准异常处理机制

根据校准过程中出现的示值误差超差、重复性不好、稳定性不合格等异常情况，制定出相应的处理流程。传感器校准不合格时，按照衡器检定规范进行专项复检，对设备整机进行后续检定，核查内置标准砝码的量值准确性，根据需要对砝码单独进行检定校准。整机或者砝码检定不合格的设备立即停止使用，整改完成后复检合格后方可重新投入使用，所有的异常处理记录同步上传到远程平台上存档。

3 校准试验与结果分析

为了检验本文所提出的校准方法是否有效，选择量程 0.1kg 到 30kg、分度值 5g 的网联式智能称重传感器作为试验对象，进行远程自校准试验，并和传统的手工校准方式做对比，分析校准精度和稳定性差异。试验环境温度为 26℃，环境湿度为 70.5%RH，无电磁干扰和设备震动，满足校准环境的要求，基准设备使用的是 F2 等级 1kg 内置标准砝码。

3.1 试验数据采集

按照标准化校准流程，对试验传感器进行三次重复校准，获取原始测量数据，计算示值误差、重复性指标，统计长期稳定性数据，试验结果见表 2。

表 2 试验结果

试验次数	单次测量值 /g	平均测量值 /g	示值误差 /g	重复性 /g	稳定性 /g
1	1000.3	1000.3	0.3	0.5	0.4
2	1000.1				
3	1000.5				

3.2 不确定度评定

为了保证校准结果的科学性，对示值误差校准结果进行不确定度评定，不确定度来源主要是测量重复性和标准砝码量值误差。经过计算可知，测量重复性造成的标准不确定度为 0.11g，标准砝码引起的标准不确定度为 0.01g，合成标准不确定度为 0.11g，取包含因子 2，扩展不确定度为 0.22g。试验数据表明，分辨力引入的不确定度很小，可以忽略不计，校准结果准确可靠。

3.3 新旧校准方式对比分析

将本文远程自校准方法和传统的手工校准方法进行比较，从校准精度、校准效率、数据稳定性和人力成本四个方面进行对比分析，结果见表 3。

表 3 新旧校准方式对比

校准方式	示值误差控制/g	单次校准时长/h	数据稳定性偏差/g	人力成本
传统人工校准	0.6~1.2	2~3	0.8~1.5	较高，需现场操作
远程自校准	0.2~0.4	0.5 以内	0.3~0.5	极低，全自动运行

从对比结果可以看出，基于自校准的远程校准方法具有明显的优势。从精度上来说，有效降低传感器的示值误差和长期稳定性偏差，数据采集的准确度得到大幅度提高；从效率上来说，不需要拆卸设备、不需要在现场进行配重，校准时长缩短 70%以上；从运维上来说，实现了无人化自动校准，大大降低了人工运维的成本，同时可以实现常态化高频校准，及时修正传感器参数漂移的问题。

4 校准应用优化策略

4.1 动态化校准周期管控优化

固定校准周期不能适应不同的工况、不同的使用频率下智能传感器精度变化的规律，容易造成过度校准或者校准滞后。

按照计量规范中不大于三个月的基本复校时间来建立差异化的、动态化的校准周期控制体系。

对农贸市场、工业流水线等高频连续运转的智能称重传感器来说,设备长时间处在负载状况之下,机械磨损以及参数漂移速度会变快,因此要将校准周期缩短到一到两个月的时间内,从而及时调整精度的偏差。对实验室、静态监测等低频使用、工况稳定的传感器,在连续三次校准数据稳定无超差的情况下,可以适当延长校准周期,但是最长不超过四个月。

依靠远程平台创建周期预警体系,自动汇总设备运转时长,校准记载和精度变动状况,智能发出校准提醒,彻底消除传统人工校准周期无序,漏校准的状况,保证传感器长久采集精度的稳定。

4.2 全链条数据溯源体系完善

校准数据完整的溯源是计量工作合规性、试验数据真实性的重要保证,也是传感器精度趋势分析的依据。就传统校准数据零散、存档不规范、不能追溯的不足之处,创建起全生命周期数据溯源管理体系。

在自动保存校准过程中,对于设备的基本参数、校准环境数据、标准砝码溯源信息、原始测量数据、运算结果以及不确定度评定数据等重要资料都要予以保存,防止因为人为疏忽造成数据存在误差或者是缺少相应的信息。在校准结果存档环节,统一规范原始记录、电子校准证书、异常处理报告的存档格式,所有的数据实时上传到云端平台,永久保存,随时调取、核验、复盘。

另外还要将累积校准数据汇总分析,得出传感器长期精度漂移的规律,准确预估设备老化、硬件损耗等可能出现的故障,由原来的被动校准转向主动预判,给设备的检修、参数修正提供数据支持。

4.3 全时段设备运行状态管控

传感器运行异常属于引起采集误差的主要因素,常态化的状态监测可以从根源上削减校准的误差,进而加强校准结果的有效性。依靠网联传感器的智能监测功能来创建全时段设备状态监控体系。

参考文献:

- [1] 刘佳璇.基于高精度传感器的数据采集系统设计与实现[J].电子技术,2026,55(4):522-523.
- [2] 杨森,裴起帆,潘兆马,等.一种多类型传感器数据采集与传输系统的研究与应用[J].传感技术学报,2026,39(2):451-458.
- [3] 任翔宇,张婷玉.多传感器融合技术在高精度地形测绘中的应用[J].山西建筑,2025,51(13):184-187.
- [4] 张越.基于热电偶温度传感器数据采集的工业锅炉模糊PID温度控制[J].工业仪表与自动化装置,2025,(1):111-115+119.
- [5] 修威国.高精度传感器自动化测试系统的设计[J].现代工业经济和信息化,2023,13(4):45-46+71.

一方面进行实时监测设备基础运行状态,发现设备离线、机身倾斜、违规开盖等异常工况时发出自动报警信号,并把异常情况保存起来,对于由于人为干预造成的设备摆放异常等问题及时预警和整改,防止在出现异常状况的时候造成无效的数据收集以及错误的校准结果。另一方面是定期对基准设备进行核查,校准核心基准的内置标准砝码要按照砝码检定规范定期专项检定,保证砝码量值准确、无损耗、在检定有效期内,从源头上保证校准基准的可靠性。

4.4 复杂工况校准适配优化

常规校准模式适合于标准工况环境,但是工业生产、户外商贸等复杂的生产场景存在着温湿度变化、轻微振动、电磁干扰等客观环境因素,会对校准的准确性造成一定的影响。根据不同的应用场景来设计出合适的校准适应方案。

对于不能完全避免环境干扰的工况,在没有完全消除环境干扰的情况下,采用多次连续校准取均值的方式,减小瞬时环境干扰造成的数据偏差,提高校准结果的准确性。根据自动检重秤的计量技术要求,对动态运行工况下智能传感器做动态偏载、高速运行时的校准核验,兼顾静态校准精度和动态采集稳定性,使校准体系满足全工况运行的要求。

5 结论

智能传感器数据采集精度受到环境、设备、工况、人为等诸多因素的影响,传统的手工校准方式不能满足网络化智能传感器的运行要求。本文所研究的基于自校准功能的远程校准方法,依靠标准化的计量规范,创建起包含状态检查、多指标校准、数据运算、异常处理在内的全部校准体系,可以准确地量出传感器示值误差、重复性和稳定性指标。从试验结果可以看出,该校准方法可以有效地提高智能传感器的数据采集精度,减小数据的偏差,大大提高校准的效率,降低运维成本,并且具有常态化、自动化、溯源性强等特点。采用动态控制校准周期、完善数据溯源体系、加强设备状态监测等方式可以改善校准的效果,保证智能传感器长期稳定准确的运行。该方法适用于各种网联智能称重传感器精度校准的需求,也可以给其它类型的智能传感设备校准技术改进提供借鉴,具有较好的工程应用价值和推广前景。