

多场景物流作业称重检测方案设计与应用

□王衍量

山西应用科技学院

【摘要】面向电商仓配、快递转运、跨境保税与冷链等多并行场景的称重一致性诉求，提出“硬件+算法+流程”的一体化称重检测方案。硬件分场景配置固定式动态称重台、车载动态称重与具有蓝牙传输功能的便携式称重装置或显示装置，并与RFID、GNSS、IMU、WMS与TMS互联互通。算法采用增益自适应卡尔曼滤波与视觉辅助接触区域补偿，抑制振动、冷链环境凝露问题与温湿度变化引发的温漂与搬移冲击。流程统一触发与入库口径，构建可迁移作业约束。在上海嘉定仓、苏州运输车队、杭州末端站的试点表明：仓储效率由50提升到150件/小时（item：货物单件），误差由 $\pm 5\%$ 降至 $\pm 0.5\%$ ，复称率由7%降至1%，人工成本下降60%。运输车队效率由20单/小时提升到35单/小时，误差由 $\pm 8\%$ 降至 $\pm 1\%$ ，复称率由9%降至2%，成本下降35%。末端效率由40件/小时提升到85件/小时，误差由 $\pm 4\%$ 降至 $\pm 0.6\%$ ，复称率由5%降至2%，成本下降25%，结果验证了计量链与数据链的一致性与可复制性，同时提示在高速隔振、长坡急制动识别及极端气候温度补偿与标定一致性方面仍有改进空间。

【关键词】多场景称重；动态称重；数据治理；卡尔曼滤波；物流计费

文献标识码：A

文章编号：1003-1870（2026）05-0013-03

Design and Application of Weighing Detection Scheme for Multi-Scenario Logistics Operations

【Abstract】To meet the demand for weighing consistency in parallel scenarios such as e-commerce warehousing and distribution, express transshipment, cross-border bonded logistics and cold chain logistics, this paper proposes an integrated weighing detection scheme combining hardware, algorithms and processes. Scenario-based hardware deployment includes fixed dynamic weighing platforms, vehicle-mounted dynamic weighing systems, and portable weighing devices with Bluetooth data transmission and display functions. All devices realize interconnection with RFID, GNSS, IMU, WMS and TMS. The algorithm uses gain-adaptive Kalman filtering and vision-assisted contact area compensation to suppress temperature drift and handling impact caused by vibration, condensation in cold chain environments and changes in temperature and humidity. Process triggering and warehousing standards are unified to establish transferable operational constraints. Pilot applications in Jiading warehouses in Shanghai, transportation fleets in Suzhou and terminal stations in Hangzhou show that the warehousing efficiency has increased from 50 to 150 items per hour, the weighing error has dropped from $\pm 5\%$ to $\pm 0.5\%$, the re-weighing rate has decreased from 7% to 1%, and labor costs have been cut by 60%; The efficiency of transportation fleets has risen from 20 to 35, with weighing error reduced from $\pm 8\%$ to $\pm 1\%$, re-weighing rate down from 9% to 2%, and costs cut by 35%; Terminal efficiency has increased from 40 to 85, with error reduced from $\pm 4\%$ to $\pm 0.6\%$, re-weighing rate down from 5% to 2%, and costs cut by 25%. The results verify the consistency and replicability of the metrology chain and the data chain, while indicating that there is still room for improvement in high-speed vibration isolation, identification of steep slope and sudden braking, as well as temperature compensation and calibration consistency under extreme climatic conditions.

【Keywords】 Multi-scenario weighing; dynamic weighing; Data governance; Kalman filtering; Logistics billing

引言

电商与跨境冷链的高速发展使仓储入库、运输装卸与末端配送对称重数据提出高误差与高吞吐并存的要求。现有建设多以分散设备完成称重与货物外形尺寸采集，型号与称重计量校准策略不统一，导致数据孤岛与计费争议，复称与人工干预频繁。为此，本文以硬件计量能力与统一数据治理协同为主线，提出面向多场景的称重检测系统与流程，使称重成为贯穿WMS与TMS的可靠指标，为合规计费与库存核算提供可追溯支撑。

1 多场景物流称重检测的需求分析与现状

围绕电商仓配、快递转运中心、跨境保税仓与冷链前置仓的作业流，称重检测呈现多场景并行的复杂性。动态称重作为在输送带运动状态下进行称重采集的技术，被要求在(0.8~1.8) m/s速度下输出稳定数据；静态称重面向工位复核与托盘出入库。结合包裹尺度差异，小件段把误差控制到 ± 10 g，中件段维持在 ± 50 g，整托段控制在 ± 0.5 kg，数据需写入WMS与TMS，形成批次追溯。

从既有建设来看，华东某电商仓12条分拣线以DWS设备把称重与尺寸采集集成为一体来承担自动采集，苏州保税仓配置9个托盘电子地磅节点用于复核，但设备型号、采样策略与校准周期不一致，把数据链条割裂为多源孤岛。需重点关注的是，高速段振动、冷链段凝露与温漂、叉车作业带来的搬运冲击正在把误差传导到计费与库存核算，触发复称与人工干预。由此推导，多场景适配需把硬件计量能力与统一数据治理与流程约束相结合，使称重成为贯穿业务的一致性指标。

2 多场景物流称重检测方案的系统设计

2.1 多场景适配的称重检测硬件系统构建

鉴于仓储入库、运输装卸、末端配送在承载范围、作业节奏与数据交互上的差异，本研究把称重检测硬件进行分场景构建。仓储场景选用固定式动态称重台，将输送控制与RFID识别模块进行集成，最小称量500g，量程至500 kg，误差为 $\pm 0.1\%$ ，在0.8~1.8 m/s皮带速度下，以光电触发与抗振隔离底座把采样稳定度提高，同时配备UHF读写器与以太网接口，把称重与批次标识进行绑定后写入WMS与TMS。运输场景选用车载式动态称重仪，把高频压电称重通道布置于货车尾板与轴载位置，并与GNSS

和IMU协同工作以提取行驶工况特征，借助24 V直流供电与CAN总线把车体信号融合后输出载荷与载荷分布。末端配送场景选用具有蓝牙传输功能的便携式称重装置或显示装置，把设备整体质量控制在 ≤ 500 g以满足快递员移动操作需求，量程覆盖0~30 kg、分辨率至 ± 10 g，支持BLE 5.0与常用手持终端进行交互，并以IP54防护与一键去皮把户外临时作业的可靠性提高。上述选型以场景吞吐、误差指标、环境扰动与维护周期为依据，兼顾建设成本与后续标定一致性，使称重检测模块能够作为统一数据源参与业务流程约束与计费核算。

2.2 称重检测数据处理算法优化

从动态称重振动耦合与搬运冲击的噪声特征来看，需把滤波、估计策略与现场机械特性进行耦合。本研究在采集端部署卡尔曼滤波，使状态估计在持续运动与短时冲击下保持稳定，并以增益自适应策略对不同速度段进行权重分配。状态预测公式如下：

$$x_{k|k-1} = Fx_{k-1|k-1} + Bu_k$$

其中， $x_{k|k-1}$ 为状态预测值； $x_{k-1|k-1}$ 为上一时刻估计； F 为状态转移矩阵； B 为控制矩阵； u_k 为控制输入。测量更新公式如下：

$$x_{k|k} = x_{k|k-1} + K_k(z_k - Hx_{k|k-1})$$

其中， $x_{k|k}$ 为更新后状态； $x_{k|k-1}$ 为卡尔曼增益； z_k 为当前时刻的观测值； H 为观测矩阵。为降低不规则货物导致的受力非均匀误差，系统把视觉辅助校正当作补偿通道来使用，依据货物轮廓与底面接触区域对支承点偏移进行估计，并把偏移量以附加观测量注入滤波过程，从而使称重输出与几何形态变化保持一致性。

2.3 多场景适配策略与流程设计

结合入库、装卸与配送的作业链路，本研究制定了可迁移的流程约束。仓储入库按照扫码、称重、校验、入库的顺序开展数据采集与业务校验，把RFID标识与称重写入WMS后触发库位分配。运输装卸以动态称重、超载预警、数据上传的时序进行交互，把车载称重结果与IMU速度特征进行绑定并同步至TMS，供调度进行判断。末端配送遵循便携称重、订单匹配、签收确认的路径，把快件称重与派件任务进行关联并在签收环节完成数据闭环，见图1。

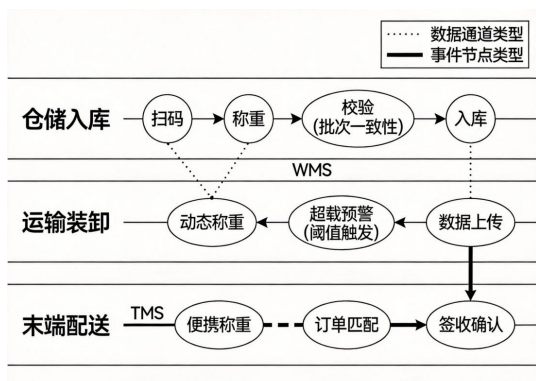


图1 多场景物流称重检测流程示意图

3 多场景物流称重检测方案的应用效果与分析

3.1 方案应用案例与数据采集

鉴于多场景并行的作业链路，本研究把方案在上海嘉定仓储中心、苏州运输车队以及杭州滨江末端配送站开展试点应用，围绕检测效率、误差与人工成本进行数据采集。仓储中心试点持续30天，共检测货物12000件，字段包含时间戳、RFID、称重与库位，以统一编号把称重与批次标识进行绑定后入库。运输车队覆盖20辆重载货车，累计行驶5000km，记录载荷、轴载分布、GNSS速度与IMU姿态，把车体信号融合后按事件窗口入库。末端配送站组织50名快递员参与，覆盖1000个订单，采集便携称重结果、派件任务编号以及签收状态，形成订单生命周期的称重数据闭环。

为支撑指标分析，系统把采集频率、触发逻辑

表1 多场景物流称重检测方案应用前后效果对比表

场景	效率 前/后 (item/h)	误差 前/后 (%)	复秤率 前/后 (%)	成本变化 (%)
仓储中心	50 / 150	$\pm 5\% / \pm 0.5\%$	7 / 1	-60
运输车队	20 / 35	$\pm 8\% / \pm 1\%$	9 / 2	-35
末端配送站	40 / 85	$\pm 4\% / \pm 0.6\%$	5 / 2	-25

4 结语

本文构建了面向仓储、运输与末端的多场景称重检测体系，实现硬件分场景最优化、算法抗扰收放与流程统一治理，试点显著提升效率、误差并降低复秤与成本。后续将聚焦跨站点标定一致性、速度自适应增益、隔振协同、IMU异常与GNSS失锁补偿，以及低温高湿条件下的温度与漂移补偿，进一步完善计量与数据闭环。

参考文献

[1] 林硕, 梁伟, 赖征创. 基于全时空数据的公路治

与数据入库策略进行统一：仓储段在皮带到位与光电触发信号下写入WMS与TMS；运输段按匀速、制动与起伏路面等工况标签把载荷与速度特征进行绑定；末端段以BLE上传时序对签收事件进行标识。并且以日为单位进行样本汇总，形成检测效率、复秤率与人工工时等度量样本，保证跨场景样本口径的一致性与对比的可解释性。

3.2 效果对比分析

对比基线作业与试点作业的关键指标，仓储场景的人工检测约为50件/小时，方案实施后提升到150件/小时，误差范围由 $\pm 5\%$ 压缩到 $\pm 0.5\%$ ，工位人工成本出现显著下降；运输场景在尾板装载与行驶阶段的称重误差由 $\pm 8\%$ 收敛到 $\pm 1\%$ ，超载预警的触发滞后缩短，司机干预频次降低；末端配送场景的单件处理效率由低速人工称重转向便携设备采集，误差范围由 $\pm 4\%$ 降低到 $\pm 0.6\%$ ，签收环节的复秤率下降。对比结果见表1。

从适配性角度来看，仓储段在高速段仍需把隔振维护与速度自适应增益协同；运输段在长坡与急制动工况下需细化IMU异常识别与GNSS失锁补偿；末端段在雨雪与低温环境中应强化IP防护与温度补偿标定。由此推导，方案的计量链与数据链能够在多场景下保持一致性，但仍存在标定一致性与治理规则上的持续优化空间。

超检测设备计量监管方法研究[J]. 衡器, 2025, 54(11): 29-34.

[2] 李东岳. 衡器自动测量系统的研究和实现[J]. 衡器, 2025, 54(11): 23-25.

[3] 李勇滔, 田云立, 宁奕胜, 郑伟光, 尹辉俊, 许恩永. 基于CAN总线参数的双工况载重车质量估计[J]. 汽车工程, 2025, 47(05): 982-991+1005.

作者简介

王衍量（2002—），男，山西应用科技学院。研究方向：物流管理。