

论电子汽车衡故障诊断与防作弊装置研究

韩敬春

榆树市食品检验检测中心, 吉林 榆树 130400

DOI:10.61369/ME.2026010021

摘 要 : 电子汽车衡作为重载计量领域的核心装备, 在贸易结算、工业生产、物流管控等关键场景中承担着不可缺少的支撑职能。当前, 行业对其计量精度稳定性与运行可靠性的需求持续攀升。本文全面梳理电子汽车衡机械结构、传感单元、电气系统等多维度常见故障类型, 剖析各类故障的诱发机理; 归纳现有故障诊断技术的分类特性、核心作用机制及实际应用成效, 同时厘清当前主流作弊手段的技术形态与隐蔽化特征, 阐述防作弊装置的研发演进脉络与应用现状。

关 键 词 : 电子汽车衡; 故障诊断; 传感检测; 防作弊装置; 智能算法

Research on Fault Diagnosis and Anti-Cheating Devices for Electronic Axle Weighers

Han Jingchun

Yushu City Food Inspection and Testing Center, Yushu, Jilin 130400

Abstract : As a core piece of equipment in the heavy-load weighing field, electronic truck scales play an indispensable supporting role in critical scenarios such as trade settlement, industrial production, and logistics management. Currently, the industry's demand for measurement accuracy stability and operational reliability continues to rise. This paper comprehensively examines common fault types across multiple dimensions, including mechanical structures, sensor units, and electrical systems, analyzing the underlying mechanisms of various faults. It also summarizes the classification characteristics, core operational mechanisms, and practical application effectiveness of existing fault diagnosis technologies while clarifying the technical forms and covert features of current mainstream cheating methods. Additionally, it outlines the research and development evolution of anti-cheating devices and their current application status.

Keywords : electronic truck scale; fault diagnosis; sensor detection; anti-cheating device; intelligent algorithm

在煤炭开采、石油化工、港口物流、矿产运输等重载作业领域, 电子汽车衡是物资计量与贸易结算的核心载体, 其计量结果的精准度直接关系企业经济效益、市场贸易公平性及行业安全生产秩序^[1]。行业统计数据显示, 仅煤炭行业每年因衡器故障引发的计量偏差损失就超数十亿元, 而各类作弊行为进一步加剧市场乱象, 不仅造成企业经济损失, 还破坏行业公平竞争环境。随着工业化进程提速与物流行业蓬勃发展, 电子汽车衡的应用场景不断拓展, 承载负荷持续增加, 运行环境日趋复杂, 对其计量精度与运行稳定性的要求更为严苛。在此背景下, 开展电子汽车衡故障诊断与防作弊技术研究, 精准识别故障成因、优化诊断方法, 研发高效可靠的防作弊装置, 对于降低企业运营风险、保障贸易公平、推动行业规范化发展具有重要的价值。

一、电子汽车衡结构组成与工作机理

(一) 核心结构

电子汽车衡是机械结构与电子系统有机融合的复杂计量设备, 其核心结构主要分为四大系统: 一是机械承载系统, 由秤体、承重梁、限位装置、基础预埋件等构成, 其中秤体作为直接承载部件, 通常采用高强度钢材焊接制成, 需具备足够刚度与强度以抵御重载压力; 承重梁负责将载荷均匀传递至称重传感器, 限位装置则用于限制秤体在水平与垂直方向的过度位移, 避免传感器损坏^[2]。二是传感转换系统, 核心部件为称重传感器, 辅以连接件、密封件等, 传感器是实现力学信号向电信号转换的关键

元件, 其性能直接决定计量精度; 连接件确保传感器与秤体、基础的可靠连接, 密封件用于防护传感器免受环境杂质侵蚀。三是信号处理系统, 包括接线盒、称重仪表等, 接线盒负责汇总多个传感器的信号并进行初步调理, 称重仪表则完成信号的放大、滤波、A/D转换及数据显示与输出^[3]。四是数据传输系统, 由传输线缆、通讯模块等组成, 实现称重数据向计算机管理系统或云端平台的传输, 为远程监控与数据溯源提供支撑。各系统协同运作, 形成完整的计量链路, 保障载荷信号的精准传递与转换。

(二) 核心工作机理

电子汽车衡的工作过程本质是力学信号的传递与电信号的转换、处理过程, 其核心机理可从力学传递与信号转换两个维度展

开。在力学传递维度，当车辆驶上秤体后，载荷通过秤体表面均匀传递至承重梁，承重梁将分散的载荷集中传递至各称重传感器，使传感器承受垂直方向压力；限位装置在此过程中限制秤体的异常位移，保障载荷传递方向的稳定性。在信号转换维度，称重传感器作为核心转换元件，其内部粘贴有应变片，当承受压力时，应变片发生弹性形变，导致电阻值变化。梁路坚^[4]的研究指出，称重传感器的核心作用在于实现力学量向电学量的精准转换，其转换精度与应变片的灵敏度、稳定性密切相关。通过构建惠斯通电桥电路，传感器将电阻变化转换为微弱电压信号，该电压信号经接线盒汇总调理后传输至称重仪表；仪表对信号进行放大、滤波、消除零点漂移等处理，再通过 A/D 转换器将模拟信号转换为数字信号，最终经微处理器运算处理后，以重量数据形式显示输出，同时通过数据传输系统上传至相关管理平台。不同类型的称重传感器（如电阻应变式、电容式、压电式）在转换原理上存在差异，其中电阻应变式传感器因具备精度高、稳定性好、成本适中的优势，被广泛应用于电子汽车衡领域，其适配场景覆盖中重载计量的大部分需求。

二、电子汽车衡常见故障类型与成因分析

（一）机械结构类故障

机械结构类故障为电子汽车衡高频故障，表现与成因具场景关联性。秤体变形呈表面凹陷、横梁弯曲，由长期超载致材质疲劳、焊接缺陷重载显现或安装基础不平受力不均引发；承重梁断裂伴随称重数据突变，源于材料选型不当、重载冲击应力集中及环境腐蚀；限位装置失效表现为秤体位移大、数据波动剧烈，因限位螺栓松动、间隙调整不当或部件磨损；连接件松动导致载荷传递不畅、数据不准，由安装紧固不足、振动松脱及温变热胀冷缩引起。

（二）传感单元类故障

传感单元故障直接影响计量精度甚至致衡器失效。零点漂移为常见类型，无载荷时仪表非零波动，成因含供电不稳、应变片老化、温湿度变化及线缆漏电干扰；信号衰减导致数据偏小、响应迟钝，由内部电路老化、线缆问题及接线盒端子腐蚀引起；线性度偏差表现为计量误差均超范围，多因应变片粘贴不规范、弹性体疲劳或校准不及时。结合梁路坚对传感原理的研究，传感单元信号转换对环境干扰与部件状态极敏感，任何异常均会导致信号失真。

（三）电气与数据处理类故障

此类故障涵盖接线盒、仪表、传输系统等部件异常，隐蔽性强。接线盒故障表现为数据波动大、信号无法汇总，成因包括端子松动、线路故障及密封不良进水粉尘侵蚀；称重仪表故障含无法开机、显示异常等，多由电源模块故障、芯片损坏、程序异常或参数丢失导致；数据传输故障体现为数据无法上传、延迟或丢失，源于线缆破损、通讯模块故障、网络不稳及接口不兼容。

（四）环境适配类故障

环境因素是重要外部诱因，故障类型随环境差异明显。高温

致传感器性能衰减、仪表损坏，因应变片灵敏度下降、弹性体热变形及电子元件耐热不足；低温易引发线缆断裂、零点漂移加剧，源于线缆绝缘层硬化及传感器内部介质变化；潮湿粉尘环境造成电路短路、部件腐蚀，因湿气粉尘破坏绝缘、加速腐蚀；强电磁辐射环境导致数据紊乱，因干扰信号转换与数据处理。

三、电子汽车衡故障诊断技术研究

（一）传统故障诊断技术

传统技术以人工经验与基础仪器检测为核心，适用于简单场景初步排查。人工排查法凭经验观、触、听判断故障，便捷无设备要求，但精度低、依赖经验、难识隐蔽故障；仪表参数检测法通过参数与故障代码定位故障；信号对比法则借助仪器检测信号并与标准对比。邓李斌^[5]在模拟式电子汽车衡技术分析中指出，传统技术在模拟式衡器中应用成熟，在数字式衡器中因信号处理复杂效能下降。该类技术成本低、操作简，但效率、精度及适用范围有限。

（二）基于传感检测的故障诊断技术

该技术通过增设辅助传感设备采集多维度参数，实现故障间接识别与精准定位。振动传感监测振动参数变化判断机械故障；温度传感监测部件温度发现电气故障；应力传感监测应力分布识别承重结构问题。其优势为实时性、非破坏性及早期故障识别能力，但存在多参数融合分析难、环境干扰影响精度等问题，已在港口、化工等场景初步应用。

（三）基于智能算法的故障诊断技术

该技术为研究热点，通过算法深度分析数据实现故障精准识别，主流算法包括神经网络、支持向量机、粒子群优化等。神经网络具强非线性拟合与自学习能力；支持向量机适用于小样本场景，擅长早期微小故障识别；优化算法提升模型精度与收敛速度。黄庆程^[6]提出的基于 IPSO-SVM 的动态汽车衡故障诊断方法，通过改进粒子群优化算法优化 SVM 参数，有效提升动态工况诊断精度。

四、电子汽车衡作弊手段特征与防作弊技术发展

（一）典型作弊手段分类与技术特征

作弊手段呈隐蔽化、智能化趋势，分硬件改装、信号干扰、操作违规三类。硬件改装通过改造衡器硬件作弊，隐蔽性强、排查难；信号干扰类无需接触硬件，通过干扰信号篡改数据，便捷隐蔽、无痕迹、排查极难；操作违规类通过不规范操作作弊，简单易被发现。高建斌^[7]在研究中指出，信号干扰与硬件改装类为当前最难防控的作弊形式，是防作弊技术研发重点。

（二）传统防作弊技术与措施

传统措施围绕物理防护、常规监测与制度规范展开，对低隐蔽性作弊有效。物理防护通过密封、防篡改螺栓等防止硬件改装；常规监测含视频监控与人工巡检；制度规范通过标准化流程、双人复核等减少作弊空间。董光先^[8]等在汽车衡防作弊研究

中指出，传统措施需多手段结合提升效果。但其对智能作弊防控不足，存在监控盲区、巡检低效、依赖人员执行等局限。

（三）新型防作弊装置的研发与应用

信号监测型防作弊装置：实时监测信号异常波动，通过信号分析识别作弊并预警，由采集、分析、预警模块组成，对主流干扰作弊识别率超85%，但对复杂干扰识别不足、存在误报。

视觉识别型防作弊装置：基于机器视觉实现称重过程智能监测，识别违规操作，由摄像头、采集卡、处理及预警模块组成，无人化监测效率高，但识别精度受环境影响大，恶劣天气下下降，当前聚焦多摄像头融合与算法优化提升精度。

智能溯源型防作弊装置：通过多维度数据融合与全程溯源识别作弊，为发展前沿。李自杰^[9]在煤炭无人值守计量智能发运自动防作弊技术研究中，提出一体化智能防作弊系统方案，整合多维度数据通过关联分析识别作弊。其核心逻辑为“采集－分析－预警－溯源”，借助边缘计算分析异常，通过区块链实现数据不可篡改，适用于无人值守场景，作弊发生率下降超80%，但成本高、复杂度大、维护要求高。

（四）防作弊技术的协同应用

单一技术难应对多样化作弊，多技术协同一体化防控是关键。通过“硬件防护＋信号监测＋视觉识别＋数据溯源”分层防控，硬件防护为基础，信号与视觉监测为实时层，智能溯源为核心追责层。李国玉^[10]在常见电子汽车衡误差分析及防作弊控制措施研究中指出，不同防作弊手段具互补性，协同应用可提升效能。

五、电子汽车衡故障诊断与防作弊技术现存问题

现有技术存在五大短板：动态工况适配不足，动态场景诊断精度显著下降；早期微小故障识别能力弱，难实现早期预警；智能

算法依赖样本、成本高，泛化能力不足；传统与智能技术融合不充分，效率与精度难兼顾；环境适应性待提升，复杂环境误报漏报率高。防作弊技术应用存在诸多局限：单一装置针对性不足，难应对组合作弊；误报漏报率高，对复杂新型作弊识别不足；系统兼容性与升级性差，难与原有系统协同；老旧衡器改造难、成本高；智能系统成本过高，导致行业应用不均衡。技术标准不统一导致设备兼容差、数据不通；监管体系不健全，覆盖不足、手段单一、存在盲区；监管滞后于作弊手段更新；技术交流不充分，培训体系缺失，人员水平参差不齐影响技术应用与监管效率。

六、小结

本文梳理了电子汽车衡的结构组成与工作机理，分析机械结构、传感单元、电气系统、环境适配等多维度常见故障类型及成因机理，全面归纳了传统诊断、传感检测诊断、智能算法诊断三类主流故障诊断技术的特征、效能与应用场景。同时，梳理了硬件改装、信号干扰、操作违规三类典型作弊手段的技术特征，分析多手段协同防控体系的构建逻辑与应用效能。现有故障诊断技术在动态工况适配、早期微小故障识别方面存在明显短板，防作弊装置则面临多手段协同不足、智能化预警滞后、老旧衡器适配难等问题，同时行业标准不统一、监管体系不完善等问题也制约了技术的健康发展。未来，应聚焦多传感融合与智能算法优化，构建精准高效的故障诊断技术体系，推动技术推广应用与行业规范化发展。

参考文献

[1] 吴天昊. 汽车衡称重传感器故障诊断方法研究 [D]. 湖南师范大学, 2022.
[2] 陈志华. 燃油加油机的防作弊技术及措施浅析 [J]. 全面腐蚀控制, 2025, 39(7): 59–61.
[3] 郑建忠, 旋石婵, 霍晓珊. 汽车衡无人值守系统改进 [J]. 衡器, 2023, 52(3): 30–33.
[4] 梁路坚. 电子汽车衡传感器的原理及应用 [J]. 科技资讯, 2018, 16(7): 104–105.
[5] 邓李斌. 模拟式电子汽车衡技术分析与故障诊断 [J]. 中国标准化, 2018(10): 199–200.
[6] 黄庆程. 基于 IPSO-SVM 的动态汽车衡故障诊断方法研究 [J]. 机电工程, 2024, 41(12): 2310–2319.
[7] 高建斌. 电子汽车衡作弊方法分析与预防作弊措施探讨 [J]. 市场监管与质量技术研究, 2023, 41(5): 54–56.
[8] 董光先, 吴卫馨, 熊利海. 浅谈汽车衡 / 平台秤防作弊 [J]. 衡器, 2024, 53(12): 12–16.
[9] 李自杰. 煤炭无人值守计量智能发运自动防作弊技术研究 [J]. 自动化技术与应用, 2025, 44(1): 28–31+88.
[10] 李国玉. 常见电子汽车衡误差分析及防作弊控制措施 [J]. 中国金属通报, 2025, 33(2): 196–198.