

动态公路自动衡器数据质量评估：基于实测数据的异常值识别与不确定度分析

□刘玮¹ 王薇²

1. 武汉检验检测认证发展集团有限公司 2. 武汉市交通运输局智能交通中心

【摘要】动态公路自动衡器是不停车治超的核心计量设备，其数据质量直接关系到执法公正性与治超系统公信力。本文基于现行计量规程与国家标准，结合实际监测点位的货车通行数据，通过计量数据处理方法构建了包含异常值识别、剔除与不确定度评定的数据质量评估模型。本文研究为动态公路自动衡器的现场数据质量控制与误差分析提供了可行的技术方法，并为后续精度提升与智能补偿提供参考依据。

【关键词】动态公路自动衡器；数据质量；不确定度分析；异常值识别；重复性误差

文献标识码：A 文章编号：1003-1870 (2026) 03-0029-03

Data Quality Assessment of Automatic Weighing Instrument for Dynamic Highway: Outlier Identification and Uncertainty Analysis Based on Measured Data

【Abstract】 The automatic instruments for weighing road vehicles in motion is the core metrological equipment for non-stop overload management, and its data quality is directly related to the fairness of law enforcement and the credibility of the overload control system. Based on current metrological regulations and national standards, and combined with truck traffic data from an actual monitoring site, this paper constructs a data quality assessment model that includes outlier identification and uncertainty evaluation through metrological data processing methods. The research in this paper provides a feasible method for field data quality control and error analysis of automatic weighing instruments for dynamic highway, and also provides a reference basis for subsequent accuracy improvement and intelligent compensation.

【Keywords】 The automatic instruments for weighing road vehicles in motion; data quality; uncertainty analysis; outlier identification; repeatability error

引言

动态公路自动衡器作为公路不停车超限检测的关键设备，其测量数据是交通非现场执法的重要依据。在实际使用中，由于车辆速度、行驶轨迹、路面状况及设备自身性能等因素的影响，称重数据往往存在一定的波动性与离散性。如何从现场实测数据中识别异常值、合理评定测量不确定度，进而评估数据质量，是保障执法数据有效性与公信力的基

础工作。本文以某实际监测点位采集的货车通行数据为基础，探讨动态称重数据的异常值识别方法，开展测量不确定度评定，并对数据质量进行分析与讨论，以期在现场数据质量控制提供参考。

1 研究意义和背景

1.1 我国公路治超政策背景

初步启动与集中整治：根据交通运输部的统一部署，自2004年6月起，全国层面开始集中开展违法超

限超载治理。早期的重点在于路面执法，遏制急剧恶化的超载势头。

法治化与规范化：2011年国务院颁布《公路安全保护条例》，为治超工作提供了关键的法律依据。2016年，多部门联合发文统一了超限超载的认定标准，并推动交通运输与公安部门建立联合执法模式及配套标准。

源头治理与科技赋能：近年来，政策重点从“路面管控”转向“源头治理”与“科技治超”。通过建立重点货运源头单位名录，并对矿山、钢铁、港口、混凝土生产厂家等企业安装称重监控设备，力求从装载环节杜绝超载。同时，大力建设不停车超限检测点和非现场执法系统。

1.2 动态公路自动衡器的应用现状

目前，我国关于汽车称重衡器的相关国家标准已完成修订，系列标准 GB/T 21296.(1~5) 于2020年正式发布，分别对通用技术、整车式、轴重式、弯板式、石英晶体式公路车辆自动衡器进行了规定。该标准编制过程参考了国际法制计量组织 OIML R 134:2006《动态公路车辆称重及轴载测量自动衡器》。根据现有数据，动态公路自动衡器的建设和应用已初具规模。以湖北省武汉市为例，全市已建成10套非现场执法称重系统（含47个车道），覆盖各区主要干线，形成“全域+全链”的监管网络。未来还将规划新建43个不停车检测点，最终将达到500+车道。动态公路自动衡器按照速度可实现(0.5~100) km/h 全车速范围称重。

1.3 动态称重数据的应用与挑战

随着科技治超的深入推进，动态公路自动衡器已广泛应用于公路超限非现场执法系统。然而，动态称重过程受多种因素干扰，导致数据重复性较差，直接影响测量结果的可靠性与执法一致性。因此，开展现场数据质量评估，识别异常数据、量化测量不确定度，具有重要的现实意义。在实际应用中，动态称重数据质量的控制主要包括异常值识别与测量不确定度评定两个环节。异常值识别旨在排除因设备瞬时故障、车辆异常跳动等非随机因素导致的无效数据；不确定度评定则用于量化测量结果的分散性，反映数据可信程度。二者结合，可为现场数据有效性判断提供依据。

2 数据质量评估方法

2.1 数据预处理

设数据为 x_1, x_2, \dots, x_n ($n=20$)

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

\bar{x} 为平均值：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

s 为样本标准差。

2.2 异常值识别

在数据近似服从正态分布且样本量适中（如 $n>10$ ）的情况下，可采用拉依达准则辅助识别异常值。实际操作中需结合过程记录，判断异常是否由非随机因素引起，并决定是否剔除。若 $|x_i - \bar{x}| > 3s$ ，则判定为异常值。 s 为异常值应剔除之后需重新计算平均值和标准样本差。

2.3 数据不确定度评定

动态称重测量不确定度的主要来源包括：测量重复性引入的随机分量、设备自身最大允许误差引入的系统分量、车辆过衡速度变化引入的分量，以及因行驶轨迹偏离中心线导致的偏载分量。本次研究对车速分量和偏载分量的影响进行了独立实验测量与量化。通过将这四个核心分量共同纳入不确定度评定模型，并辅以现场标定与轨迹监测数据，可显著提升评定结果的完整性与可靠性。

重复性引入的不确定度分量 u_A ：

$$u_A = \frac{s_r}{\sqrt{m}}$$

s_r 为剔除异常值之后重新计算的样本标准差；

m 为剔除异常值之后的有效样本数。

动态公路自动衡器最大允许误差引入的不确定度分量 u_B ：

$$u_B = \frac{MPEV}{\sqrt{3}}$$

MPEV为对应准确度等级的最大允许误差绝对值（最大值与最小值的差值）。

车辆过衡速度变化引入的分量 u_v ：

$$u_v = \frac{R_v}{C}$$

R_v 为不同速度多次测量重量的最大差值；

C 为极差系数。

偏离中心线引入的偏载分量 u_p ：

$$u_p = \frac{R_p}{\sqrt{3}}$$

R_p 为测量到的最大正负偏差。

合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{(u_A^2 + u_B^2 + u_v^2 + u_p^2)}$$

扩展不确定度

$$U = k(k=2) \text{ (置信水平约为95\%)}$$

3 实证研究：某监测点位数据分析

3.1 监测点位概况及数据初步分析

本研究选取某工业园区密集型路段作为监测点位，该区域重型货车通行频繁，具有典型的公路治超非现场执法应用场景。采集时段为2025年11月1日至2026年1月1日，共计2个月，获取有效货车通行记录27000余条。重点筛选高频通过的四轴刚性载货货车作为分析对象，以其总质量数据为基础开展质量评估。

初步数据分析表明：车辆总质量在15吨以下时，称重结果波动较小，数据分布相对集中。总质量超过15吨后，数据离散程度显著增大。这一差异主要源于载货状态的不同——15吨以下多为空载或轻载工况，测量值以车辆皮重为主。15吨以上为实际载货状态，货物重量的批次差异导致测量值波动加剧。

为准确估算车辆皮重，本研究选取同一辆四轴货车在空载状态下连续5~25次通行数据作为样本。经分析，该车型基准皮重约为12吨。尽管空载时燃油、尿素、水箱等液体载量存在微小波动（波动范围通常不超过50kg），但对总重测量的相对影响约为0.4%，低于国家计量规程中5级动态汽车衡 $\pm 2.5\%$ 的最大允许误差。因此，该因素在后续数据质量评估中可予以忽略。

3.2 数据质量评估

3.2.1 数据初步计算

选取某工业园区路段，2025年11月至2026年1月期间，同一辆四轴货车在空载或近似空载状态下多次通过的重量数据共20组，作为重复性测量样本。数据如下（单位：kg）：

12200,12350,12400,12600,12650,12650,12700,12750,12900

12950,12950,12950,12050,12200,12300,12350,12350,12400,12500

平均值 \bar{x} =12547 kg

样本标准差 s =281kg

使用拉依达准则对这20个数据进行异常值筛选，所有数据均在（11704, 13390）内，无异常值。

3.2.2 数据不确定度

由测量重复性引入的不确定度分量 u_A =63kg

以平均值 \bar{x} 为参考值，规程中5级动态公路自动衡器的最大允许误差为 $\pm 2.5\%$ ，由最大允许误差引入的不确定度分量 u_B =181kg

基于重载车辆在不同速度下的实测数据（车辆为四轴刚性车辆，标重为19080kg，在0~60km/h时20次测得数据最大为19050kg，最小为18900kg），极差 R_v =150 kg，采用极差法， $n=20$ 时，极差系数 $C=3.73$ ， u_v =40kg

根据现场试验偏左、中间和偏右相同速度多次测量最大正负偏差为50kg，试验视为均匀分布， u_p =29kg

合成不确定度为 u_c =198kg

扩展不确定度 $U=396$ kg($k=2$)

3.3 数据质量分析

根据计算，四轴空载货车20次重复测量均值为12547kg，标准差281kg，无异常值。合成标准不确定度为198kg，扩展不确定度为396kg（ $k=2$ ），相对扩展不确定度约3.2%，符合5级动态汽车衡精度要求。不确定度主要来源为最大允许误差，重复性次之，车速与偏载影响较小。结果表明，该点位动态称重数据质量良好，空载状态重复性与稳定性可控，测量结果可信，满足非现场执法数据可靠性要求。

4 结论与展望

4.1 研究结论

本文以某工业园区路段实测货车通行数据为基础，构建了适用于动态公路自动衡器的数据质量评估模型，系统开展了异常值识别与测量不确定度评定。研究表明：空载状态下动态称重数据的重复性与扩展不确定度均满足5级动态汽车衡计量精度要求。

最大允许误差是合成不确定度的主导分量，重复性次之，车速与偏载贡献较小。本文所提方法操作简便、可解释性强，能够有效支撑现场数据质量快速判识与初步可靠性评价，为非现场执法系统的数据应用提供了可行技术路径。

4.2 未来展望

为进一步提升动态公路自动衡器数据质量，后续研究可从以下方面深化：一是完善现场数据预处理规范，将异常值识别嵌入实时监控流程，提升数据清洗效率；二是细化不确定度评定模型，结合车速分区、轴型分类、环境因素等开展分层评估；三是引入多传感器融合与智能滤波算法，抑制动态称重过程中的随机干扰；四是构建基于海量历史数据（车型、速度、温度、轨迹等）的AI补偿模型，实现测量误差的实时修正与动态校准，为科技治超系统提供更高精度的数据支撑。

参考文献

[1] 罗检民, 吴振兴, 李杨. 浅析高速公路入口治超

称重设备现状与选型[J]. 计量与测试技术, 2022, 49(5): 25-28.

[2] 王建军, 刘小丽. 基于提高公路自动衡器精准性的分析与探讨[J]. 衡器, 2023(4): 10-14.

[3] 颜锋锐, 韩莉洁. 动态公路车辆自动衡器常见问题分析[J]. 现代交通技术, 2025, 22(6): 50-53.

[4] 中华人民共和国国家计量检定规程 JJG 907-2006《动态公路车辆自动衡器》[S]. 北京: 中国计量出版社, 2006.

作者简介

刘玮, 男, 武汉市检验检测认证发展集团计量中心检定员, 注册计量师, 负责衡器相关检定。

王薇, 女, 武汉市交通运输局智能交通中心高级工程师, 交通运输规划与管理硕士, 负责综合运行中心TOC项目运营。