

ETC 货车动态称重 WIM 三维传感器结构 “3D 动态衡” 及其市场应用的探讨

□陕西大秦衡器有限责任公司 杨萌

【摘要】针对高速公路收费站ETC 货车现有WIM 动态称重的“1D 匀速衡”投诉多，以及非现场执法称重误差大的现状，依据《经典力学》《惯性理论》，在传统WIM “1D 匀速衡”的基础上，在其秤台水平前后和左右侧增加二个维度多向测力传感器的组合，提出新型“3D 动态衡”结构及其分析计算的方法，“3D 动态衡”是WIM 多维度动态矢量多数据系统的基础硬件，抛砖引玉将激励衡器业对WIM 技术和产品研发步伐，改善WIM 与ITS 不相适应短板和瓶颈尴尬悖论的现状，ETC “3D 动态衡”+ TMS 平台，为ITS 的升级、开拓新生态上下游关联产业战略机遇和布局，其独角兽IPO 题材机遇和政策性应用的探讨。

【关键词】收费站ETC 货车动态称重；WIM 三维传感器结构“3D 动态衡”；“3D 动态衡”分析计算
文献标识码：B 文章编号：1003-1870（2023）07-0025-05

1 收费站ETC 货车动态称重的背景

众所周知，高速公路ETC 货车计重收费的国情和长期的政策不会变，否则货车“三超”事故瘫痪高速公路的后果非常恐惧。因此，ETC 货车WIM 动态称重和智能收费、查限“三超”车辆，就成为智能交通ITS 不可或缺的重要体现和根本保障。传统中静态所使用“1 维力垂直传感器组”感应的汽车衡，是过去一般在非动态环境下所使用静态称重电子的汽车“地中衡”，其秤体结构只是在秤台下设置有1 维矢量力垂直方向传感器组感应的形式，见图1。首先应该肯定和感谢前人经过不懈努力把传统静态的机械“地中衡”，历经不同应变感应形式的电子和数字化成果后用于高速公路收费站一度长期所使用的WIM “汽车衡”（包括整体秤和轴重秤、地理石英感应等，暂称：1D 匀速衡，见图1）。由于收费站WIM 环境复杂，导致“1D 匀速衡”误差大投诉多，在情理之中。出现WIM 的“短板和瓶颈”与ITS 不相适应尴尬的悖论也是难免的。交通部的《JT/T489-2019》再次规范了货车类型的分类，预示着ITS 要求和规范ETC 货车WIM 的政策不会改变，并已成为按车型分类及轴荷

动态称重WIM 的长期指导方针。不仅规范了货车的WIM，或间接或变相地限制了“1D 匀速衡”在收费站货车通道WIM 去功能化或甩站外改静态称重，或许也是在变相呼唤衡器业加快提速研发WIM 衡器的步伐，刻不容缓。

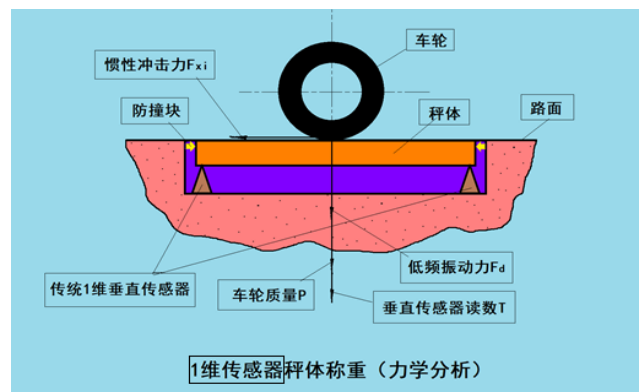


图1 “1D 匀速衡”传感器结构及力学分析图

2 “1D 匀速衡”动态称重弊端分析

经过分析应知道，暂称之为“1D 匀速衡”，其WIM 应适用于静止或车辆匀速通过秤台的环境，其“1D 匀速衡”垂直的“1 维传感器组”结构感应采

集和仪表显示的数据，应该就是一条车辆（车轮）重量 P 随称重时间 t 延伸的平滑直线。由于收费站“1D匀速衡”WIM的环境因素复杂，即使把非动态环境下所使用分度精度等级 \geq Ⅲ级的“1D匀速衡”整体秤或轴重秤，分道/分秤用于高速公路收费站ETC货车轻/重通道或作为WIM粗衡器 \leq Ⅳ使用，当称重车速 $V \geq 10\text{km/h}$ ，出现司机为减轻称重，在通过秤台时无意紧张或刻意的“跳磅”“走S”“压边”，或当称重车辆“加速度” $a \neq 0$ ，或者“急动度” $j \neq 0$ （ j 为 a 对时间的导数，即 $j'(t) = a'(t)$ 加速度 $a \neq c$ 为变数）的复杂环境时，其“1D匀速衡”WIM垂直“1维传感器”实际感应采集和仪表应显示的数据，不能否认，就是一条随称重时间 t 轨迹不断上下波动烈度和阈值幅度参差不齐的曲线。由于高速公路行驶的货车型号多和轴荷差异大，况且收费站受限一般只设置一种ETC货车WIM通道，无论是整体秤或轴组秤WIM的“1D匀速衡”，只能设计成量程大适应性广，分度和精度等级 \leq Ⅳ级的粗衡器。因此，其WIM的曲线轨迹上下波动的烈度和阈值幅度就更大，其误差大投诉多除外部环境外，更主要是由其“1D匀速衡”内部结构性因素所致。如果对其WIM曲线成分的属性不加区分，笼统对其曲线进行所谓的计算和滤波，据对各地不同收费站出入口之间各类“1D匀速衡”动态称重 $a \neq 0$ （ $V \geq 20\text{km/h}$ ）存在WIM误差和差异的暗访，以及对隐形垂直惯分量 $\pm F_{gi}$ 赋值模型、不完全估算统计，“1D匀速衡”WIM平均误差 $\geq 18\%$ 的概率在65%以上。由于货车 $V \leq 30\text{km/h}$ 又无法实现（ $a=0$ ）定速巡航，对驾驶状态削足适履的约束计量又不可控，随着时代和执法环境的发展与进步，由于误差大投诉多，收费站“1D匀速衡”WIM的轴组秤逐渐成为过去，“1D匀速衡”整体秤基本上也失去了WIM衡器的光环。交通部《JT/T489-2019》实施后，收费站水落石出，显现出加速度 $a \neq 0$ （速度 $V \geq 2\text{km/h}$ ）状态，WIM衡器的空白及与ITS不相适应“短板和瓶颈”尴尬的悖论。这就是交通部《JT/T489-2019》进一步规范货车分类和限制“1D匀速衡”WIM，鞭策和呼唤衡器业应加快研发WIM衡器步伐的真实背景，但应该相信，收费站WIM衡器的上述空白只是暂时的。

依据《经典力学》和WIM的实践：基于司机的

“跳磅”，或当称重时车辆加速度 $a \neq 0$ 或急动度 $j \neq 0$ 时，车辆产生“惯性力” G 的水平惯分量 F_{xi} ，可撞损秤台水平限位防撞块。经过分析和论证“1D匀速衡”垂直传感器组结构感应采集和仪表显示的数据，应是“1维复合函数” $T = f(P \pm F_{gi} \pm F_{di} \dots)$ ，是鱼龙混杂由多维因素促成，在垂直 Y 方向就有垂直惯分量 $\pm F_{gi}$ 和低频振动力 $\pm F_{di}$ 合成附加的隐形误差伴生， T 复合曲线上下烈度和阈值幅度就宽，顽疾的隐形误差（ $\pm F_{gi} \pm F_{di}$ ）占 T 总误差的98%左右。因此，基于依靠“1D匀速衡”感应采集的单维垂直数据及其仪表计算，要区分/溯源 $T = f(P \pm F_{gi} \pm F_{di} \dots)$ 中“多维”自变量的因素和属性，是缺失对隐形误差 $\pm F_{gi} \pm F_{di} \dots$ 形成起因认知的不到位，或许是有看法没办法。受“1D匀速衡”感应采集的单维垂直数据及其仪表计算的单维性局限，由于其复合函数 $T = f(P \pm F_{gi} \pm F_{di} \dots)$ 混检的自变量的属性多而混杂未知，“1D匀速衡”为复合函数 T 提供必要的多维数据采集和区分计算的条件也就捉襟见肘肯定不够了。如果仅按“1D匀速衡”的单维数据属性对上述多维属性复合函数 T 夹带误差（ $\pm F_{gi} \pm F_{di} \dots$ ）不加判断和区分，连毛带渣去进行单维属性的数据计算和滤波，其隐形误差造成的阈值幅度就会被裹挟。因此，传统“1维垂直传感器结构及其仪表计算”的衡器只能是“1D匀速衡”，不能用于WIM加速度 $a \neq 0$ 或者急动度 $j \neq 0$ 时的复杂环境，如果眉毛胡子一把抓把“1D匀速衡”多维属性的 T 复合函数，与单一属性的数据类同处理，并夹带隐形误差的阈值幅度一起计算和滤波，其认知和依据就双重缺失，这种对WIM复合函数“ T ”模糊的“认知和计算”应质疑不靠谱是吧？

3 新型车辆动态称重的“3D动态衡”及计算

依据《经典力学》和《惯性理论》及收费站WIM的实践，司机“跳磅”“走S”车辆加速度 $a \neq 0$ 或者急动度 $j \neq 0$ 时，在垂直 Y 方向叠加产生的惯分量 F_{gi} 与低频振动力 $\pm F_{di}$ 合成附加的误差，占WIM称重 T 总误差的98%左右。理论和实践告诉我们：假设称重车辆（液罐车辆经过识别使用另外计算模型）为“刚体”，车辆加速度 $a \neq 0$ 或者急动度 $j \neq 0$ 时，惯性力 G 水平惯分量 F_{xi} 可撞损秤台水平限位防撞块的属性，这就为区分感应采集和溯源垂直传感器组复

合函数T中自变量的成分和属性，暗示了如何联立和间接的为溯源和计算，勾勒出新型检测3维方向矢量力传感器的组合结构WIM衡的雏形（暂称：3D动态衡，见图2），“3D动态衡”是在上述传统“1D匀速衡”的基础上，在其秤台水平前后和左右侧增设了前后和左右2维度矢量力感应的传感器组合结构而成，“3D动态衡”的结构是能够在秤台上、WIM检测被称重车辆三维度动态矢量多数据系统的硬件基础，其3维度传感器组合的3D结构直观明了，原理简洁理论精确，“3D动态衡”的3D三维度感应传感器组合结构，能为WIM提供动态相同时间点“t”的三维度动态矢量“数据”或三维度相互关联函数，“3D动态衡”检测的三维度数据或函数，其在相同时间点“t”时刻的每“帧”三维度数据或函数的集合，可准确地反映出WIM“t”时刻车辆（车轮）P真实的“3D状态”。根据《经典力学》和“能量守恒”定律，车辆（车轮）的重量P在“3D动态衡”上的“3D状态”、与其检测的多维度相关联的“3D数据或函数”之间，就能够建立起多维度《经典力学》的函数关系。

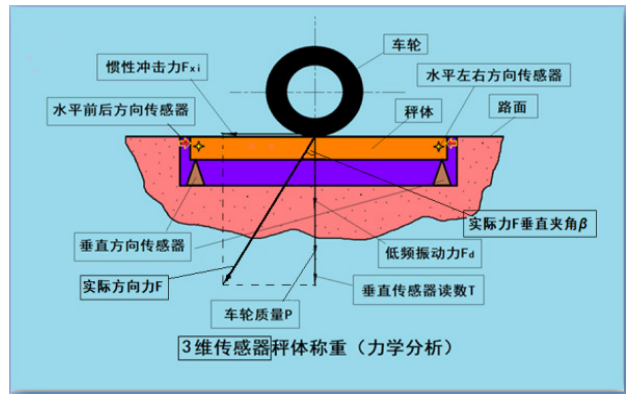


图2 “3D动态衡”传感器结构及力学分析室图

接下来自然就是依据《经典力学》和《惯性理论》如何利用“3D动态衡”检测到的动态“多维度数据”（见图3）及多维度相互关联的函数，通过Y垂直方向复合函数 $T = f(P \pm F_{gi} \pm F_{di} \dots)$ ，建立三维空间X水平前、后方向惯分量 F_{xi} 矢量传感器组感应采集的复合函数 $F_{xi} = y(\pm a \pm j \pm P/g \dots)$ ，以及Z水平左、右方向“偏载/压边/走S”矢量传感器组结构感应采集的复合。

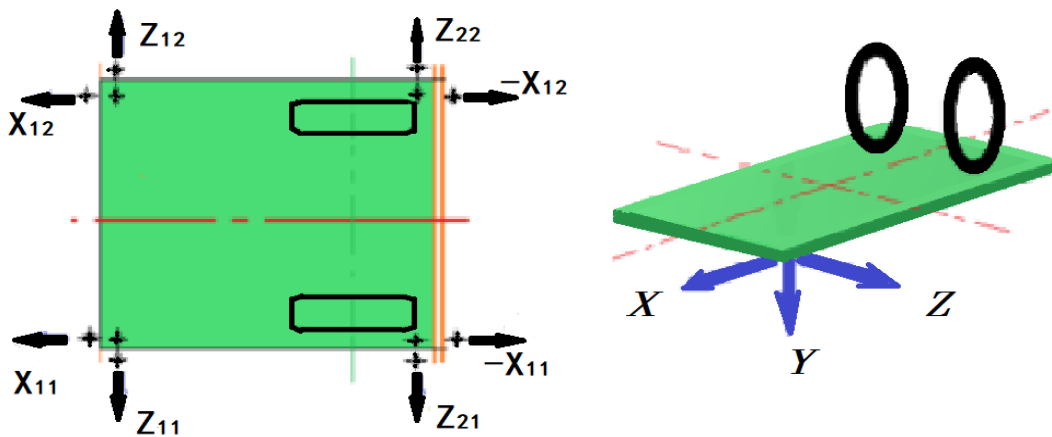


图3 “3D动态衡”矢量函数“VAC/DTI”融合分析示意图

函数 $F_{zi} = \gamma(\pm \Delta T \pm \Delta R \pm \dots)$ ，其中： ΔT 为Y垂直方向左、右侧传感器结构感应可测复合函数T偏载/压边的 Δ 变量， ΔR 为车辆“走S”产生的水平方向左、右传感器可测侧向力变化的函数 $R = \beta(\pm \Delta T)$ ，有了上述分析和认知，建立多维度与WIM相互关联感应可测的数据，与“3D动态衡”的

复合函数，进行VAC和大数据阵列DTI/AI的计算就顺理成章了。

经过我们多年与西安交通大学、西北工业大学、长安大学、西安建科大专家教授咨询和合作，就原创性探索和研究“3D动态衡”及“多维度相互关联的‘融合’”方法计算，设计出三种方案：

(1) “VAC/DTI”计算 (Vector Angle Calculate) : 矢量矩阵计算和迭代的黑科技方案设计现已完成, 满足产品生产的条件, 将车辆 (车轮) 动态称重WIM全过程的数据+误差、与分析计算路径和系统融合完全贯通。

(2) “VAC/AI”计算: 训练和深度学习的“2D+3D+识别”AI计算系统, 是由国家级AI专家策划和实施, 经对应样本采集的大数据+误差的训练和深度学习, 是VAC/AI动态称重分析计算成功和验证及精度提升的再保障。

(3) “VAC DTI/AI”融合: 是VAC/DTI与AI融合方案, 是在1.和2.的基础上加动态融合, 其动态融合AI计算更可靠, 使精度提升保障更进一步。

ETC“3D/AI”WIM的设计指标: 为粗衡器 \leq IV级; 称重环境: 速度 $V \leq 35\text{km/h}$ ($a \neq 0$ 、 $j = c$ 常数); 分度量程: 参考过去WIM“1D匀速衡”整体秤和轴组秤综合参数; 设计误差: $\leq \pm 1.0\%$ 的概率为99.9%; 试验误差: $\leq \pm 1.5\%$ 的概率为97%。随着AI大数据积累参数调整精度会越来越高, 最终产品误差: $\leq \pm 1.2\%$ 的概率为99%; ETC“3D/AI”+完全能够保障ETC货车WIM智能计缴路桥费的需求。

“VAC/DTI”是“3D/AI”WIM的核心, “3D动态衡”VAC/DTI的WIM函数关系, 依“数理”理论, 分析解析融合是数学工具, 分析计算方法为“AI/IT”技术。上述原创性的“3D动态衡”软/硬系统架构, 符合《经典力学》和《惯性理论》, 理论和方向正确, 应该是为WIM找到了新的方向和出路。到目前为止, 尚未发现“3D动态衡”的软/硬系统, 在“理论和计算”设计的方法论和原则性上, 存在颠覆性的疏漏, “3D动态衡”抛砖引玉, 将诚实接受广泛的验证锤炼和完善, 因此, “3D动态衡”一定能够实现ETC货车WIM动态称重的预期。

4 当前ETC货车动态称重的现状

由于受“疫情”及GDP下滑的影响, 对交通部的《JT/T489-2019》或间接把“1D匀速衡”从收费站动态称重WIM去功能化或甩站外改静态称重、及各地探索性试验的舆情: 一、为保通畅把货车动态称重的短板甩站外改静态称重属旁门左道。二、为促快捷和消除瓶颈, 不分ETC空/重车相同标准收费, 违背国情民意。三、95%以上的收费站外扩建“称

重/卸载/劝返”广场不现实, 高速中途设检查站低效易疏漏“三超”。四、站外扩建、车辆换型、称重绕道、空返挤低速, 站外广场和中途检查站鱼龙混杂是乱象丛生的“暗箱”, CCTV多次负面报道。五、货车排队“静态称重”反复起停浪费和排污巨大, 已推行ETC一卡通因各地称重方式差异, 货车ETC徒有虚名。六、受站外空间限制和“疫情”影响, 货车运输量下滑, ETC货车大部分仍在站内静态称重, ITS缺少WIM“短板和瓶颈”, 造成拥堵和“三超”车辆事故尚未频发“爆雷”。七、上述现象造成综合社会资源浪费近万亿, 已遭广泛质疑。八、WIM“短板和瓶颈”是ITS无法回避和替代挥之不去的痛楚, 愿“3D/AI动态衡”能抛砖引玉, 推动WIM衡器的研发。九、弥补和贯通ITS收费站ETC货车WIM“短板”和“瓶颈”刻不容缓, 衡器业为ITS提供WIM衡器责无旁贷, 担当的历史和社会责任义不容辞神圣而光荣。

5 “3D动态衡+”的市场应用及政策支持

ETC“3D/AI”+符合交通部ITS不停车“动态称重+移动支付”技术和产品的所有要求, 是交通部ITS综合、智慧、绿色、平安平台不可或缺的基石。ETC货车“3D/AI”WIM, 不仅可以用于收费站, 而且还可以用于非现场执法自动称重。可自动识别和报警锁定“三超”车辆, 可减少交通事故对生命及财产造成的重大损失, 杜绝“三超”车辆对道路造成的破坏, 可节约道路维护费。可减少货车称重排队频繁的起停次数, 节约燃油和货运成本, 可降低燃油和雾霾污染治理, ETC“3D/AI”+(F2C/B2S/S2S)等物流储运大数据, 可开创系列新的“新生态”, 可与阿里的菜鸟联盟、京东、顺丰等物流平台建立广泛的战略合作。ETC“3D/AI”+可开创“货运专车/周转专箱/第三方储运(3S)”的新生态, 是对接F2C/车联网OBD/路联网BDS/货联网IOT等共享新经济新产业的领头羊, 是衔接各级自贸区/保税区/港区B2B互联互通经济的纽带。ETC“3D/AI”+是货车网联车AI/ICO自动辅助驾驶的清道夫, ETC“3D/AI”+TMS的新生态和数据流, 将成为国家顶级的物流配送和调度中心平台, ETC“3D/AI”+TMS平台可提供最权威的订单、配载、调度、行车、北斗定位、流向、降空载等服务, 可汇聚管理

更多的涉及物流及配送的用户，可实现新就业数万人。是对接ITS新业态的新平台，ETC“3D/AI”+技术系统的实施，为智能交通ITS的升级、开拓新生态上下游关联产业的战略机遇和布局，特别是ITS收费站和工矿企业对“3D动态衡”需求和更新的总量远超数千亿，对GDP的贡献巨大社会效益不可估量，“3D动态衡”独角兽IPO的题材机遇，可遇不可求。

ETC“3D/AI”+符合习近平总书记用“创新驱动产业转型升级的动力和活力促进供给侧改革”的精神，符合中央二十大“后疫情”刺激国内经济复苏，化解国际环境恶化的新基建、新挑战、新机遇的部署，紧扣中央二十届一次财经会议的“产业六体系”任务建设，是国务院交通部各及地方政府主

动引导市场预期，是急切寻觅行之有效具体得力的抓手，是实现“六保”“六稳”和“后疫情”拉动GDP保民生和增加就业项目。愿ETC“3D/AI动态衡”的设计和探索不负初心，能得到各级主管部门和行业领导的高度重视及扶持，愿“3D动态衡”能抛砖引玉，提振起衡器业、为ITS收费站WIM智能化研创的激情，为刺激和拉动国民经济发展，保民生保就业，让WIM走向世界贡献中国衡器人的智慧。

作者简介

杨萌，男，1960年生，硕士研究生，机械工程师，刑侦技术工程师。主要研究方向为动态称重环境与技术等。