

计量技术在智能交通系统中的应用与效率提升研究

张龙梅¹ 邬炯² 祁世飞¹

1. 巴彦淖尔市产品质量计量检测中心; 2. 巴彦淖尔市交通运输综合行政执法支队

摘要: 对计量技术在智能交通系统中的应用进行了研究, 报告了其在交通运行参数测量、传感器校准、数据融合及信号控制优化等方面的现状, 分析了其在提升交通效率与运行安全中的作用。研究结合交通流量监测、公共交通调度及智慧高速案例, 总结了多源数据采集、标准化计量体系和实时控制机制的应用特点。结果表明, 计量技术能够提高智能交通系统的精细化水平, 推动道路资源利用和公共交通服务质量提升。结论指出, 未来应加强智能化计量手段研发与标准建设, 以实现交通系统的高效、安全和可持续发展。

关键词: 计量技术; 智能交通系统; 效率提升; 数据融合; 运行安全

城市化加速与机动车保有量增长导致交通拥堵和安全问题突出。智能交通系统依赖对运行状态的实时监测与精准控制, 而计量技术是关键支撑。通过传感器与采集设备实现对车速、流量等参数的准确测量, 交通管理得以实现科学调度。但当前存在精度不足、标准不统一、数据融合有限等问题, 制约了效率提升。研究计量技术在智能交通中的应用与优化路径, 对推动交通治理数字化与安全化具有重要意义。

1 计量技术在智能交通系统中的作用

计量测试技术的目标是使用标准化的测量工具或程序, 以量化的方式来评估事物的属性。其主要特点是标准化、量化、可靠性和效度, 即通过标准化的测量程序, 以可量化的方式进行特征描述, 并确保在不同时间和条件下均能准确、一致地衡量所要评估的特定特征或能力。在智能交通系统中, 计量技术正是基于这一目标和特征, 为交通运行状态的精细化监控提供了科学依据。车速、交通流量、密度等运行参数的实时测量依赖传感器与检测装置的精准计量, 确保了调度与信号控制的有效执行^[1]。同时, 智能交通系统内部存在多源数据的并行输入, 唯有通过标准化的计量与校准, 才能保障数据的一致性与可比性, 为跨区域交通治理和全路网调控奠定可靠基础。随着车联网与移动终端的广泛应用, 计量技术在交通数据融合中的价值进一步凸显, 不仅支撑了拥堵治理与道路资源的动态分配, 也提升了公共交通的调度水平与出行效率。

2 计量技术驱动的交通效率提升路径

2.1 信号控制优化中的计量支撑

信号控制优化的关键在于对交通运行状态的实时

把握, 而计量技术为此提供了路径导向。通过高精度传感器与检测设备获取车速、流量和交通密度等核心数据, 信号机能够根据标准化计量结果动态调整相位与周期。在这一过程中, 数据的准确性与一致性成为实现精细化控制的前提。计量体系不仅要求对单点车流的即时测量, 还需结合路网多点的数据融合与校准, 确保调控所依据的信息具有统一性与可比性。由此形成的信号配时优化路径, 建立在计量精度保障与数据标准化支撑之上, 为后续调度逻辑提供了可靠的参数基础^[2]。

例如, 在城市主干道交叉口的信号控制中, 地磁检测器与视频检测系统协同完成对车流量和排队长度的计量。采集到的数据经标准化处理后传输至控制中心, 算法模块根据车道饱和度和平均延误量生成信号配时方案, 进而调整红绿灯相位长度。在动态控制过程中, 还需引入周期性校准机制, 对传感器数据进行偏差修正, 保证长期运行下测量结果的可靠性。部分路段采用多点同步检测, 通过比对上游与下游交通流的计量差异, 实时修正信号配时策略, 实现路口群的协调控制。

2.2 道路资源配置与拥堵缓解的计量应用

道路资源的动态配置依赖于对交通瓶颈和路段饱和度的精准识别, 而计量技术为实现资源优化提供了清晰路径。通过对车道流量、车速分布和交通密度的标准化测量, 可以形成动态分配的基础数据。在路径构建上, 计量体系不仅关注单路段的拥堵强度, 还需通过跨节点数据融合, 识别全路网的交通压力分布, 从而支持车道利用率优化、潮汐车道启闭与匝道流量管控。该路径要求测量结果在时间和空间上具有一致

作者简介: 张龙梅, 高级工程师, 研究方向为质量管理, 产品质量检验, 计量检定, 标准研究;

邬炯, 本科, 研究方向为交通运输管理, 交通综合行政执法, 公路运输经济;

祁世飞, 本科, 助理工程师, 研究方向为计量管理、计量检定。

性,以便在调度中心形成实时决策依据,实现资源在动态状态下的高效再分配。

例如,在快速路高峰期管理中,地磁与雷达检测器对各车道流量进行实时计量,结合视频监控获取的排队长度数据,系统能够识别临界饱和车道并启动动态分配机制。调度中心根据标准化处理后的数据,决定潮汐车道的启用与关闭,并通过可变信息标志提示驾驶员。同时,在城市快速路与辅路衔接的匝道处,通过匝道计量监测车辆进入速率,若检测到主路流量接近饱和,则自动启动信号灯节拍控制,对车辆进入节奏进行调整,以平衡主辅路交通负荷。

2.3 智能调度与公共交通效率提升

公共交通调度的核心在于掌握客流规模与车辆运行状态的精确信息,计量技术为此提供了路径支撑。通过乘客流量、到发时刻和运行速度等参数的量化测量,能够形成调度的基础数据集。该路径强调在时空维度上同步采集多源数据,并通过标准化计量与校准建立一致性的参数体系。智能调度平台基于这些数据对车辆班次、发车间隔及运行线路进行动态优化,实现公共交通运力与出行需求的匹配。在此过程中,计量结果不仅服务于实时调度,也为长期运行规律的建模与资源配置提供参考。

例如,在轨道交通高峰期的运行管理中,自动检票系统记录的进站与出站客流量作为核心计量指标,经数据清洗与标准化处理后输入调度系统^[3]。若检测到站台客流超过设定阈值,系统会自动生成加密班次方案,并调整列车发车间隔。在地面公交系统中,车辆搭载的GPS设备与客流计数器实时计量运行速度与乘车人数,调度中心通过比对不同线路和时段的数据,确定发车频率与车辆投放比例。部分城市已将计量结果接入乘客信息平台,为候车人员提供实时到站预测。

3 计量技术在智能交通系统中的应用

3.1 多源数据融合与计量协同机制

在智能交通系统中,多源数据的实时采集与协同计量是实现应用落地的核心。交通运行信息来源广泛,包括视频监控、地磁检测器、雷达传感器和车联网终端,不同设备在精度、时延与量纲上存在差异,若缺乏统一计量框架,则难以形成有效整合。为此,需要引入融合模型对各类数据进行标准化校准与一致性修正。常用方法是基于加权融合的数学表达式:

$$X_f = \sum_{i=1}^n w_i \cdot X_i, \sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (1)$$

其中 X_i 表示第 i 类传感器的计量值, w_i 为其权重系数,依据设备精度与可信度动态调整。该模型确保

在多源输入条件下形成统一的融合结果,从而克服单点测量的局限性。以城市交通枢纽为例,系统将地铁客流计量与地面道路流量监测结果按权重整合,既能准确反映换乘压力,也为后续道路资源分配和信号控制优化提供可靠支撑。这一机制为智慧高速与城市道路的典型应用奠定了基础,并与前述效率提升路径在逻辑上形成衔接。

3.2 智慧高速与城市道路的典型应用案例

3.2.1 京沪高速与杭州城市路网的智能化改造需求

以京沪高速为例,作为国内车流量最高的高速通道之一,其交通运行长期面临高峰时段的严重拥堵与事故频发。传统依赖人工巡检和定时信号的管理方式难以及时捕捉车流的动态变化,导致道路通行效率和应急处置能力均受限制。与此同时,在杭州等特大型城市,核心路网高峰拥堵指数长期居高不下,常规的信号配时与流量疏导已无法满足精细化管理需求。面对高速公路与城市道路双重压力,交通管理部门逐步推动智慧高速与智能路网建设,通过部署视频检测器、地磁传感器和气象监测设备,实现多源交通参数的实时计量,并利用云平台进行数据融合与预测^[4]。这一转型不仅旨在解决当前的拥堵与安全难题,也为交通系统建立跨区域、跨层级的调度与管理模式提供了实践背景。

3.2.2 融合计量驱动下的智慧化调度实践

在京沪高速与杭州城市路网的智慧化改造中,计量技术的应用已形成一套可操作的实践链条。首先,多源数据采集是核心基础。高速路段布设的视频监测、地磁检测器和气象传感器持续采集车速、流量与能见度等参数,城市路口则通过地感线圈和摄像设备计量车流密度与排队长度。采集到的数据经标准化处理后,进加权融合模型(1)进行整合,在不同环境条件下获得统一的交通运行参数,为后续调度奠定可靠基础。在此基础上,预测模型用于提前识别交通运行风险。京沪高速引入基于历史数据与实时流量的时间序列模型:

$$Q(t+1) = \alpha Q(t) + \beta V(t) + \gamma \quad (2)$$

其中 $Q(t)$ 为时刻 t 的流量; $V(t)$ 为平均车速; α, β, γ 均为回归系数。通过该模型,可以预测未来一个时间段内的流量变化趋势,并在可能出现拥堵的节点提前启动信号调控与匝道管制。

在城市道路的信号控制优化中,系统将融合后的交通参数引入相位优化模型。以最小延误时间为目标函数的配时模型常见表达为:

$$\min D = \sum_{i=1}^m \frac{q_i \cdot d_i}{C} \quad (3)$$

其中, q_i 表示第 i 个车道的流量, d_i 为对应的平均延误时间, C 为信号周期。通过该模型, 调度中心能够在不同路口间实现信号配时协调, 避免单点优化造成的溢出效应。

例如, 在杭州某交通枢纽路口, 系统将主干道与辅路的流量按加权融合模型进行整合, 再利用预测模型识别高峰时段的潜在排队长度。若检测到主路流量超过阈值, 配时模型会自动延长主干道绿灯相位, 并缩短次干道绿灯周期, 从而平衡路口整体延误。在京沪高速, 匝道计量系统通过实时采集车辆进入速率, 结合预测模型结果, 动态调整匝道信号灯节拍, 使主线流量保持在临界饱和及以下。同时, 数据经周期性校准, 确保长期运行下的可靠性。这一系列细化操作表明, 智慧高速与城市道路的典型应用, 不仅依赖于多源数据的计量与融合, 更通过预测模型与信号优化模型形成了“采集—融合—预测—控制”的闭环路径, 为智能交通系统的高效与安全运行提供了可验证的实践依据。

3.3 运行安全与效率协同保障

在智慧高速与城市道路的应用实践中, 运行安全与效率提升并非孤立目标, 而是通过计量技术实现协同平衡的结果。安全依赖于对关键风险指标的实时监测, 包括车距、车速波动及道路环境参数, 这些均需通过高精度传感器计量并经融合模型统一处理。以车距监测为例, 毫米波雷达与视频系统双重计量后, 经权重分配与偏差修正形成标准化结果, 既保证测量的可靠性, 也为碰撞预警提供及时依据。效率的提升则体现在对运行瓶颈的动态识别与控制, 通过预测模型提前捕捉可能的流量异常, 使交通管理从被动响应转向主动调度。更为关键的是, 安全与效率在数据层实现一体化支撑: 相同的计量体系既用于识别潜在风险, 又用于优化资源配置。例如, 京沪高速的匝道控制系统在融合流量与车距计量数据后, 不仅控制车辆进入速率以防止拥堵, 还在高风险天气下触发速度限制, 兼顾通行能力与事故防控^[5]。

4 未来发展趋势与优化路径

智能交通系统在计量技术的支撑下已展现出显著成效, 但在更大范围和更高层次上仍面临技术迭代与体系完善的挑战。随着人工智能、边缘计算和大数据

技术的不断融合, 计量手段正由单一参数测量向多维感知与动态建模转变, 从而推动交通管理由“状态记录”向“趋势预测”演进。这一趋势不仅要求传感器精度与实时性提升, 还对跨平台、跨区域的标准化体系提出更高要求。计量结果要能够在不同交通场景间保持可比性和可移植性, 形成统一的数据支撑框架, 以便在全国范围内推广应用。同时, 交通系统的低碳转型与绿色发展目标, 使计量技术的优化路径逐渐延伸至能耗监测、碳排核算和绿色出行评价等领域, 从而实现效率与可持续性的统一。更为重要的是, 未来的计量技术不再局限于单纯的检测工具, 而是作为智能决策体系中的核心模块, 直接参与调度算法、风险预警和资源配置逻辑的构建。由此可见, 未来的发展路径应围绕智能化、标准化与可持续化三大方向展开, 形成从技术演进到体系优化的完整逻辑链条, 为交通治理提供更加稳固和长效的支撑。

5 结语

计量技术在智能交通系统中的应用已经从单点测量扩展至多源融合与协同调度, 展现出在提升运行效率与保障交通安全方面的核心价值。通过传感器精密计量、数据融合模型和预测控制机制的协同构建, 交通管理实现了由被动应对向主动优化的转型。典型案例表明, 智慧高速与城市道路的改造依赖于高质量的计量体系, 其结果不仅支撑了信号优化和资源配置, 也推动了安全与效率的双重提升。未来, 随着智能化与标准化进程加快, 计量技术将在绿色出行、低碳交通和可持续治理中发挥更为深远的作用。

参考文献:

- [1] 陈思, 张坤, 邹晖. 轨道交通产业计量器具闭环管理的数字化应用与实践 [J]. 品牌与标准化, 2025(5): 249-251.
- [2] 荆根强, 罗翥, 高耀, 等. 公路交通基本要素计量测试技术综述 [J]. 公路交通科技, 2025, 42(6): 1-21.
- [3] 贾娉娉. 智能计量技术在机动车整车检测线中的应用与研究 [J]. 汽车工艺师, 2025(6): 39-41.
- [4] 赵艺博, 吴志群, 郑春蓉, 等. 贯彻国家计量发展规划, 全面提升计量能力和水平 [J]. 上海计量测试, 2023, 50(1): 27-29.
- [5] 李义岭, 喻彦喆, 姚克民. 城市轨道交通智能化及可持续发展现状分析与展望 [J]. 现代城市轨道交通, 2021(11): 90-94.