

Research on the Mechanisms of Urban Road Traffic Congestion and Optimization Strategies for Traffic Guidance

Qianwen Zhao Shuguang Ning

Shandong Zhongjiao Hengtai Design Consulting Co., Ltd., Zibo, Shandong, 255000, China

Abstract

Urban road traffic congestion has become a critical factor restricting urban operational efficiency and the quality of public travel, characterized by multi-source coupling and dynamic evolution. Focusing on key aspects such as supply-demand imbalance, traffic flow characteristics, and behavioral disturbances within urban transportation systems, the mechanisms of congestion formation are systematically examined, revealing the aggregation and diffusion patterns of traffic flow in both temporal and spatial dimensions. Considering factors including road network structure, traffic organization modes, and management measures, the intrinsic mechanisms of congestion evolution under different scenarios are analyzed. On this basis, a comprehensive mitigation strategy system is developed, encompassing traffic demand regulation, intelligent technology applications, and optimized allocation of road resources, aiming to enhance the operational efficiency and capacity of the transportation system from multiple dimensions. By integrating key technical pathways, targeted and practical optimization approaches are provided for urban traffic congestion management.

Keywords

urban roads; traffic congestion; formation mechanism; traffic mitigation; optimization strategies

城市道路交通拥堵机理与疏导优化策略研究

赵倩文 宁述光

山东中交恒泰设计咨询有限公司, 中国·山东 淄博 255000

摘要

城市道路交通拥堵问题已成为制约城市运行效率与公共出行品质的重要因素, 其形成具有多源耦合与动态演化特征。围绕城市交通系统中供需失衡、交通流运行特性及行为干扰等关键环节, 对拥堵形成机理进行系统梳理, 揭示交通流在时空维度上的集聚与扩散规律。结合道路网络结构、交通组织方式及管理手段等因素, 分析不同情境下拥堵演化的内在机制。在此基础上, 构建涵盖交通需求调控、智能技术应用与道路资源优化配置的综合疏导策略体系, 从多维度提升交通系统运行效率与通行能力。通过对关键技术路径的整合, 为城市交通拥堵治理提供具有针对性与可操作性的优化思路。

关键词

城市道路; 交通拥堵; 形成机理; 交通疏导; 优化策略

1 引言

随着城市化进程持续推进, 人口与机动车保有量快速增长, 道路交通系统面临的运行压力不断加大。交通供给能力与出行需求之间的结构性矛盾逐渐显现, 拥堵现象在早晚高峰及重要节点区域表现尤为突出。复杂的交通网络结构、多样化的出行方式以及不确定性干扰因素, 使交通系统呈现出高度非线性与动态变化特征。传统以扩大道路规模为主的治理方式难以从根本上缓解拥堵问题, 交通运行效率提升逐步转向精细化管理与系统优化路径。依托数据感知技术与智能化调控手段, 对交通流运行状态进行动态识别与精准调控, 成为改善交通运行环境的重要方向。在此背景下, 从机

理层面对拥堵问题进行深入分析, 并构建多层次协同优化路径, 对于实现城市交通系统高效、稳定运行具有重要意义。

2 城市道路交通拥堵形成机理分析

城市机动车保有量持续增长与道路资源扩展速度之间存在明显差距, 是交通拥堵形成的重要基础性原因。以典型大中城市为例, 机动车年均增长率普遍维持在 6%—10%, 而道路里程年均增长率多在 2%—4% 之间, 供需差异逐步放大。单位时间内道路通行能力具有刚性约束, 当车流密度接近或超过临界密度值 (一般约为 30 辆/km·车道) 时, 车辆运行速度显著下降, 平均车速由自由流状态下的 40 km/h 下降至 20 km/h 以下, 系统效率明显降低。出行需求在早晚高峰呈现集中释放特征, 通勤出行占比可达 60% 以上, 导致短时交通负荷急剧上升, 形成典型的“峰值挤压”效应^[1]。局部减速、换道或制动行为会沿车流反向传播, 形成“冲

【作者简介】赵倩文 (1999—), 女, 中国山东滨州人, 本科, 从事道路桥梁交通工程研究。

击波”，其传播速度通常为15—20 km/h，进而导致后方车流持续减速甚至停滞。瓶颈位置多出现在匝道汇入、信号交叉口及车道收窄区域，这些节点通行能力往往下降20%—40%，成为制约整体通行效率的关键环节。

3 城市道路交通拥堵影响因素系统解析

3.1 道路网络结构与节点布局影响机制

道路网络结构对交通运行效率具有基础性约束作用。网格状路网在理论上具备较高分流能力，但在实际应用中，若次干路与支路密度不足，将导致交通流过度集中于主干路。部分城市支路网密度低于6 km/km²，难以有效分担交通压力，使主干路负荷率长期超过0.85。交叉口作为网络关键节点，其通行能力直接影响整体效率，当信号交叉口饱和度超过0.9时，排队长度呈指数增长。节点间距过大或过小均会影响流线组织，间距小于300 m易形成频繁停车，间距大于800 m则难以实现有效分流。快速路与地面道路衔接不畅，匝道设计能力不足，也会形成新的瓶颈区域，使交通流在转换过程中产生滞留与冲突，降低整体通行效率。

3.2 交通管理与信号控制因素作用机理

交通管理水平与信号控制策略对道路通行能力具有直接调节作用。固定周期信号控制在交通需求波动较大条件下难以实现动态适配，易造成绿信比配置不合理，部分方向绿灯利用率不足而另一方向排队溢出。典型交叉口在高峰时段若绿信比偏差超过10%，通行能力下降幅度可达15%—25%^[2]。信号周期过长会增加延误时间，周期超过120 s时，平均延误时间显著增加，车辆停车次数提升。缺乏协调控制的路段难以形成“绿波带”，车辆行驶过程中频繁启停，平均速度降低至25 km/h以下。交通组织措施不合理，如车道功能划分模糊、左转冲突未有效分离，将进一步降低交叉口通行效率，使拥堵在节点处不断累积并向上游扩展。

4 城市道路交通拥堵演化特征与动态过程

4.1 交通拥堵时空分布特征分析

交通拥堵在时间与空间上呈现明显集聚特征。时间维度上，工作日早高峰集中在7:30—9:00，晚高峰集中在17:30—19:00，峰值时段交通流量较平峰期增长约1.5—2.0倍。空间维度上，拥堵主要集中在中心城区、商业区及交通枢纽周边，部分路段高峰期平均车速低于15 km/h。环形与放射状路网结构中，交通流向中心区域汇聚，形成明显的“向心拥堵”特征。节假日期间，旅游景区与高速出入口区域交通负荷显著上升，短时流量可达到设计能力的120%以上，形成阶段性拥堵。拥堵在空间上具有连片扩展特征，多个相邻路段同时处于低速运行状态，形成区域性拥堵带。

4.2 交通流演化过程与拥堵扩散路径

交通拥堵的形成通常经历从稳定流向不稳定流再到拥堵流的演化过程。当交通流量逐渐接近道路容量时，车辆运行状态由均匀分布转向波动状态，速度方差增大，系统稳定

性下降。局部扰动产生后，车流波动以波形形式向上游传播，形成“拥堵波”。在典型条件下，拥堵波传播距离可达数公里，并在连续交叉口作用下不断叠加。拥堵扩散路径多沿主干路向支路延伸，当主干路通行能力受限时，部分车辆绕行至次干路与支路，导致原本负荷较低的道路迅速饱和，形成次级拥堵。交通系统中各路段相互关联，局部瓶颈会通过网络传导影响整体运行状态，使拥堵呈现链式扩展特征^[3]。

4.3 高峰期与异常状态下拥堵演变规律

高峰期交通需求集中释放，使道路运行状态迅速接近饱和点，系统对扰动的敏感性显著增强。流量超过设计容量约10%时，道路运行状态由临界稳定转向不稳定，平均车速快速下降，排队长度成倍增长。异常状态下，如突发事故或极端天气，交通系统承载能力进一步下降，恢复时间明显延长。统计表明，在无干扰条件下，高峰期拥堵恢复时间约为30—45 min，而在事故影响下可延长至60 min以上。多重因素叠加时，拥堵具有明显的持续性与反复性特征，部分路段在多个信号周期内无法完全消散，形成周期性拥堵。交通系统在高负荷与不确定因素共同作用下，呈现出复杂的非线性演变规律，对管理与调控提出更高要求。

5 城市道路交通拥堵监测与评估方法体系

5.1 多源交通数据融合监测技术

多源交通数据融合监测技术通过整合浮动车数据、视频检测数据、地磁检测器数据及移动通信信令数据，实现对交通运行状态的连续感知。浮动车数据采样比例通常达到3%—5%，可反映路网平均运行速度变化，视频检测设备覆盖率在核心区域可达到80%以上，能够提供车流量与排队长度信息。地磁检测器采集精度可达95%，在车道级流量统计中具有较高可靠性。多源数据在时间分辨率上可达到1 min级别，在空间维度上可细化至路段与交叉口尺度，通过数据融合算法对不同来源数据进行匹配与校正，可将速度误差控制在±5 km/h范围内。数据平台通过实时更新与历史数据对比，形成连续的交通运行图谱，为拥堵识别与调控提供基础支撑。

5.2 交通拥堵评价指标体系构建

交通拥堵评价指标体系以反映道路运行效率与服务水平为核心，涵盖速度指标、延误指标与饱和度指标等内容。平均行程速度是基础指标，当主干路车速低于20 km/h时可判定为中度拥堵，低于10 km/h时为严重拥堵。延误时间用于衡量通行效率损失，单位车辆平均延误超过60 s时表明交叉口运行处于高负荷状态。道路饱和度以实际流量与通行能力之比表示，当数值超过0.9时，交通系统进入临界运行区间。拥堵指数综合速度与流量变化构建，一般取值范围为1—10，当指数大于6时，路网整体运行压力显著上升。指标体系通过多维数据计算形成动态评估结果，可实现对不同区域与时段交通状态的精细化描述，为管理决策提供量化

依据^[4]。

5.3 拥堵状态识别与预测模型方法

拥堵状态识别依托数据驱动模型对交通运行状态进行分类判定。基于速度与流量特征构建判别模型,可将交通状态划分为畅通、缓行与拥堵三类,识别准确率可达到90%以上。时间序列模型在短时预测中具有良好效果,利用历史数据对未来5—15 min交通状态进行预测,平均误差控制在10%以内。机器学习方法通过对多维数据进行训练,可捕捉复杂交通模式,实现对异常波动的提前识别。深度学习模型在大规模数据环境下可进一步提升预测精度,将平均预测误差降低至8%以下。模型输出结果以路段级与区域级形式呈现,为交通调度与信号优化提供实时依据,使管理措施能够在拥堵形成前提前介入。表4-1为某城市道路交通拥堵监测与评估指标的分析内容

表4-1 某城市道路交通拥堵监测与评估指标统计表(早高峰时段)

路段编号	平均车速(km/h)	平均延误时间(s)	饱和度(V/C)	拥堵指数
A1	22	65	0.88	5.9
A2	18	85	0.94	6.7
A3	14	110	1.01	7.8
A4	11	135	1.08	8.9
A5	9	160	1.15	9.6

6 城市道路交通拥堵疏导优化策略构建

6.1 基于交通需求管理的调控策略

交通需求管理通过调节出行结构与出行时间分布,降低高峰时段交通压力。差异化收费机制可对出行需求产生直接影响,在实施拥堵收费后,部分区域高峰流量下降约15%—25%,车速提升10 km/h以上。公共交通优先发展可有效分担道路压力,当公交分担率提高至40%以上时,道路通行效率明显改善。错峰出行与弹性工作制能够平滑出行需求曲线,将高峰流量削减约10%。停车管理通过提高核心区域停车成本,减少车辆进入中心城区的意愿,使车流密度得到控制。多种需求调控手段协同作用,可从源头上减少交通负荷,缓解供需矛盾。

6.2 基于智能交通系统的协同优化策略

智能交通系统通过信息化与自动化手段提升交通运行效率。自适应信号控制系统可根据实时流量动态调整信号配时,使交叉口通行能力提升10%—20%。车路协同技术通过

车辆与道路设施信息交互,实现车速引导与路径优化,减少无效停车与加速行为。动态路径诱导系统可引导车辆避开拥堵路段,使路网流量分布更加均衡,部分区域交通负荷下降约10%。交通信息发布系统通过多渠道向出行者提供实时路况信息,提高出行决策效率。智能技术的应用使交通系统由被动响应转向主动调控,提升整体运行稳定性^[5]。

6.3 基于道路资源配置的精细化疏导策略

道路资源精细化配置通过优化车道功能与空间利用,提高单位道路通行能力。潮汐车道在高峰时段可将关键方向通行能力提升30%左右,有效缓解单向交通压力。公交专用道与多乘员车道可提高高效率交通方式的通行优先权,使单位道路载客能力显著提升。交叉口渠化设计通过增加转向车道与优化导流岛布置,可使通行效率提升15%以上。路侧停车整治释放通行空间,使车道有效宽度恢复至标准值,通行能力提高约20%。通过对道路空间进行精细划分与动态调整,使有限资源得到最大化利用,从而实现交通运行效率的整体提升。

7 结语

城市道路交通拥堵问题具有多因素耦合与动态演化特征,单一治理手段难以实现有效缓解。围绕交通需求、运行机制与管理模式等关键环节,通过构建系统化分析框架,可更清晰地识别拥堵形成的内在逻辑与演变路径。在监测评估与调控技术持续完善的基础上,将需求调节、智能协同与资源优化相结合,有助于提升道路通行效率与系统稳定性。面向城市交通高质量发展目标,强化精细化管理与多维协同调控,将成为推动交通运行效率持续改善的重要方向。

参考文献

- [1] 黄勇,邱乾,许佳,李振成.基于大数据和人工智能融合的城市道路交通拥堵预测研究[J].公路,2026,71(02):314-321.
- [2] 周正.城市交通拥堵治理政策的实践困境与优化路径研究[D].导师:段忠贤.贵州大学,2025.
- [3] 刘宝谦,任振.城市道路交叉口通行能力分析 with 优化设计[J].时代汽车,2025,(24):181-183.
- [4] 盖健,孙明铭,李雪,邢宇美慧.大数据环境下道路拥堵智能疏导技术分析[J].数字经济,2025,(Z2):94-95.
- [5] 潘旭.大数据分析驱动的城市道路交通拥堵演化机理与疏导模型研究[A].2025年第八届工程领域数字化转型与新质生产力发展研究学术交流会论文集[C].广西网络安全和信息化联合会:2025:111-113.