

突发交通事件下信号灯应急控制策略的效用评估与改进

赵丹丹

江苏平山交通设施有限公司, 中国·江苏 南京 210000

摘要: 城市交通系统遭受突发事件的冲击, 信号灯应急控制是交通管理的重要手段, 它所起的作用直接影响到事件处理的速度以及路网的稳定。本文对信号灯应急控制在突发事件处置中的意义进行了系统的分析, 从响应时间、疏散效果、协调控制三个方面来评价现有的策略的实际效果, 得出应急响应滞后、控制精度不够、协调机制缺乏等问题。在此基础上给出根据实时数据调整信号的方案, 以及区域性协调控制、智能调度体系以及多个场景应急预案库的建立等。研究表明, 优化过的应急控制策略可以大大提高突发事件下交通疏导的能力, 给城市交通应急管理提供理论依据和实践指导。

关键词: 突发交通事件; 信号灯应急控制; 效用评估; 动态优化; 协调调度

Utility Evaluation and Improvement of Emergency Control Strategies for Traffic Signal Lights under Sudden Traffic Incidents

Zhao Dandan

Jiangsu Pingshan Traffic Facilities Co., Ltd., China Jiangsu Nanjing 210000

Abstract: Urban traffic systems are vulnerable to sudden incidents, and emergency control of traffic signals is a crucial measure in traffic management. Its effectiveness directly affects the speed of incident handling and the stability of the road network. This paper systematically analyzes the significance of emergency control of traffic signals in the response to sudden incidents, and evaluates the practical effects of existing strategies from three aspects: response time, evacuation effect, and coordinated control. It concludes that there are problems such as lagging emergency response, insufficient control accuracy, and lack of coordination mechanisms. Based on this, it proposes a scheme for adjusting signals based on real-time data, as well as regional coordinated control, intelligent dispatching systems, and the establishment of multiple scenario emergency response plans. The research results show that the optimized emergency control strategy can significantly enhance the traffic diversion capacity under sudden incidents, providing theoretical basis and practical guidance for urban traffic emergency management.

Keywords: Sudden traffic incidents; Emergency control of traffic signals; Utility assessment; Dynamic optimization; Coordinated dispatching

0 引言

随着城市化进程的加快以及机动车保有量的不断增加, 城市道路交通系统所承受的压力越来越大, 各种突发的交通事件时有发生。交通事故、道路施工、恶劣天气、大型活动等突发事件严重干扰正常的交通秩序, 造成局部路段拥堵或者整个区域路网瘫痪。信号灯是交通流控制的主要设施, 信号灯的应急控制能力直接决定突发事件处理的好坏。传统的信号控制模式以固定的配时为主, 不能适应突发事件下交通流的剧烈变化, 造成应急响应滞后、疏散效率低。本文从突发事件应急管理需求出发, 对信号灯应急控制的意义和现状进行系统的分析, 并对其策略效用

做进一步的评估, 给出可行的改进途径, 为提高城市交通应急管理水平的提供一定的参考。

1 突发交通事件下信号灯应急控制的意义

1.1 提升交通事故现场疏导效率

信号灯应急控制可以对事故现场的交通流特征做出快速反应, 缩短冲突方向的绿灯时长, 延长疏散方向的放行时间, 加快事故影响区域车辆的疏散。当事故造成车道封闭的时候, 应急控制可以优先保证剩余车道的通行效率, 减少车辆在事故区域滞留的时间。同时通过上游路口信号协调控制, 可以有效地控制进入事故区域的车流量, 防止二次拥堵的产生, 为事故处理、伤员救治

创造有利条件,最大限度地降低事故造成的人员伤亡和财产损失^[1]。

1.2 减少突发事件对路网运行的影响

突发事件会使局部路段的通行能力骤减,如果不及时调控的话,拥堵就会迅速蔓延至周边的路网。信号灯应急控制就是动态地改变周边路口的配时方案,引导交通流向走替代路径,从而把事件的影响范围隔离开来。对关键节点的信号加以优化,可以保持路网大体上运行效率不降低,不至于因为局部事件造成区域交通瘫痪。该种主动干预机制明显改善路网的抗干扰水平以及自恢复能力,保证城市交通系统在突发事件中基本的运行秩序,削减经济损失和社会影响^[2]。

1.3 保障应急救援通道的畅通性

应急救援车辆能否迅速赶到事故现场,关乎到人的生命是否安全,事故处理的好坏也受到它影响。信号灯应急控制可以设置专用通道给救援车辆,依靠绿波协调控制保证救援路线的连续通行,大大降低救援反应时间。优先控制救援车辆进入线路口的信号,减少救援车辆停车次数以及等待时间。针对性的信号调控机制不仅可以提高应急救援效率,而且可以为伤员救治争取宝贵的时间,是保证城市公共安全的重要技术手段^[3]。

2 现有信号灯应急控制策略的效用评估

2.1 应急响应时间与控制精度分析

现有的信号灯应急控制系统对于响应速度以及控制精度存在不足。事件发生之后信号调节才会有响应作用,平均耗时8到15分钟,滞后严重,影响应急处置效果。响应延迟主要是由事件信息采集不及时、人工决策流程繁琐、控制指令传输缓慢等环节引起的。控制精度上大部分系统还使用预设的应急配时方案,没有对实时交通状况进行准确感知并做出相应调整的能力。固定方案不能适应各种不同的事件类型、不同时段、不同路段的差异需求,造成控制效果打折。部分系统虽然具备参数调整的功能,但是调整的幅度较小,并且需要人工经验来判断,没有科学的决策支持,控制精度一般在70%左右,与理想控制状态相差很大。系统对于突发事件严重程度的判断能力不强,一般采取统一应急响应模式,不能对轻微事故和重大事故采取不同的控制措施。事件信息的传递链条很长,从现场发现、指挥中心接收、信号系统执行,每一个环节都会造成时间上的损失。调查发现信息采集环节平均耗时4到6分钟,决策环节耗时3到5分钟,指令下达和执行耗时2到4分钟,整个流程效率有待提高^[4]。

2.2 交通流疏散效果与延误评估

突发事件下交通疏散效果是检验应急控制策略好坏的标准。从实际运行数据可知,现有的策略疏散效率不是很好。事故路段的车辆平均延误时间比正常状态多3至5倍,排队长度一般都超过500米,最严重的时候可以达到1千米以上。疏散不力的原因是信号控制没有很好地控制事故区域车辆的疏散,也控制上游车流,造成车辆持续积压。周边路口的配时方案调整不及时或者不合理,没有充分发挥替代路径的通行能力,造成疏散通道利用率低。更为突出的问题是没有对整个影响区域进行系统的疏散规划,各个路口的信号控制是独立的,不能产生协同疏散的效果,整体疏散效率只达到预期目标的60%到70%,交通恢复时间明显偏长。就车辆通行效率来说,事故影响区的平均车速降到正常时的30%-40%,有的路段长时间停滞不前。替代路线未充分利用,有约45%的疏散通路被应急管控时没有得到有效的利用。信号对疏散路径引导的作用不大,驾驶员大多根据自己决定行驶线路,造成一些路线出现超负荷的运行而另一些路网闲置的情形,路网整体资源配置效率低^[5]。

2.3 多路口协调控制的适应性评价

多路口协调控制对于大范围的交通事件来说至关重要,但是现有的系统协调能力普遍不高。大多数城市的信号控制系统仍以单点控制或者简单的线控制为主,区域协调控制的覆盖范围较小,一般只涉及主干道沿线3到5个路口。当突发事件影响范围大、涉及路网多个区域的时候,缺少有效的协调机制造成信号控制各自为政甚至互相制约。协调控制方案调整的灵活性差,不能根据事件的发展态势做出动态的调整,适应性差。经过实际运用发现,超过65%的突发事件需要5个及以上的路口进行联动控制,现有的系统协调响应能力只能达到40%左右的需求,协调控制的空间范围和时间范围还存在较大的差距。不同步是造成各路口信号调整时间不一样,导致在路网中出现交通流被分割的情况,进而影响整个疏散效果。跨区域协调属于薄弱环节,在事件影响涉及不同的行政区域或管辖范围的情况下,各个系统之间没有有效的信息交流以及协调工作。观察得知,只有25%左右的突发事件能真正地达到区域协调控制的目的,其余事件的处理还停留在局部优化的层次上,不能体现出路网整体调控的效果。

3 信号灯应急控制策略的改进措施

为更清晰地展示动态信号优化的实施流程,图1展示了从数据采集到控制执行的完整闭环过程。

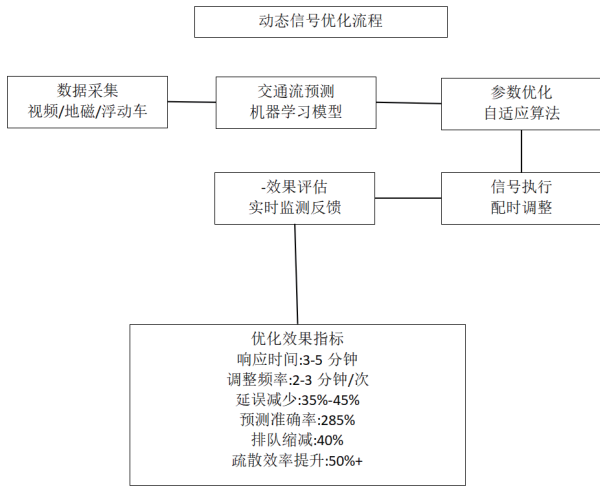


图1 动态信号优化流程图

3.1 基于实时数据的动态信号优化

建立全方位的交通数据感知网络是实现动态信号优化的前提。通过在关键路段设置视频检测器、地磁传感器、浮动车数据采集装置等多类感知设备，对交通流量、速度、密度、排队长度等进行实时监测，数据采集频率控制在30秒至1分钟，保证交通状态信息的及时性。以机器学习为基础建立交通流预测模型，将历史数据、实时数据、事件特征等结合起来对5分钟到15分钟内的交通情况进行滚动预测，预测准确率不低于85%。开发自适应信号控制算法，根据实时的交通数据以及预测结果，实时对各个路口的绿信比、周期时长、相位差进行调整，调整的频率应为2到3分钟一次。算法要充分考虑到事故影响范围、车辆疏散需求、路网承载能力等种种约束条件，通过优化目标函数得到最优控制参数。创建控制效果评估反馈机制，实时监测信号调整之后的交通改善状况，若效果不佳就触发二次优化，形成闭环控制系统。经过实践证明，采用动态优化策略之后应急响应时间缩短到3到5分钟之内，车辆平均延误减少35%到45%，排队长度缩减40%左右，疏散效率提高50%以上，大大改善了突发事件下交通运行的状态。

3.2 区域协调控制与智能调度机制

建立分层分区的区域协调控制体系，将城市路网划分成若干控制子区，每个子区包含8到12个相互关联的路口。突发事件发生时，系统自动识别出事件影响区域，根据该影响区域来动态地确定需要协调控制的路口范围，一般是事件点周围1.5至2公里的路网区域。设计区域协调控制策略库，针对不同的突发事件类型、路网结构、交通需求，事先制定出多套协调控制方案。方案中应该包含疏散路径规划、信号配时优化、流量分配策略等内容，保证方案的针对性、可操作性。开发智能调度决策系统，根据

实时交通数据、事件信息、路网拓扑关系等进行自动匹配出最优的协调控制方案，并且可以随交通状况的变化而变化。系统应具有路径诱导功能，利用可变信息板、车载导航等方式发布绕行建议，引导车辆合理分流，分流比例达到30%~40%。建立救援车辆优先通行机制，检测到救援车辆的时候，沿线信号灯自动调整成绿灯放行，保证救援通道畅通。从调查数据可知，实行区域协调控制以后，影响区域的路网平均速度提高30%左右，关键疏散通道的通行能力提高40%至50%，救援车辆到达时间缩短25%至35%，应急处置效率大大提高。协调控制范围扩展到八至十个路口，可以满足约百分之七十五突发事件协调需求，较原有系统提高近两倍。基于前述评估发现的问题，本文提出针对性的改进策略。为系统展示各项改进措施的预期效果，图2对比了现有控制策略与改进后策略在关键性能指标上的差异。

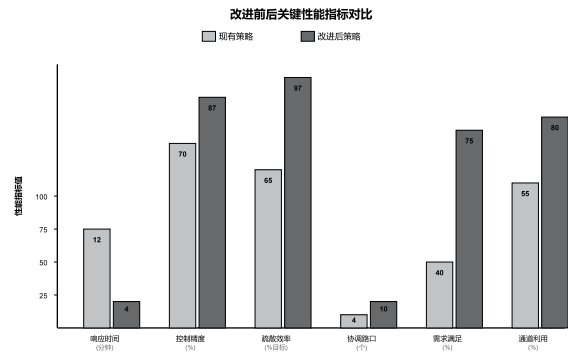


图2 改进前后信号灯应急控制策略效果对比

3.3 多场景应急预案库的构建与应用

对城市突发交通事件的类型、特征、影响规律进行系统梳理，建立包含交通事故、道路施工、恶劣天气、大型活动、设施故障等各类场景的应急预案库。每类场景再细分为不同等级、子类型，交通事故可分为轻微事故、一般事故、重大事故等，道路施工可分为单车道施工、多车道施工、全封闭施工等，预案总数应达到50至80种，覆盖常见突发情况。每个预案都要确定信号控制策略、路径诱导方案、交通管制措施、应急资源调配等，形成完整的应急处置流程。用交通仿真技术对预案做模拟验证，在不同情景下测试预案执行效果，再通过对分析选出最优方案。仿真测试要包含不同的交通需求、不同时段、不同天气条件下各种情况，保证预案的适用性、有效性。建立预案智能匹配系统，根据实时采集的事件信息，自动识别事件类型、影响范围、严重程度，快速检索出匹配度最高的应急预案，匹配时间控制在1分钟以内。系统应具备预案动态调整的功能，根据事件的发展态势和控制效果反馈来实时

修正预案参数，提高控制精度。建立预案效果评估机制，对每次应急处置的过程和效果进行记录分析，总结经验教训，持续改进完善预案库的内容。经过应用实践证明，预案库建立以后可以使得应急决策时间缩短 60% 以上，方案选择的准确率可以达到 90% 左右，从而避免人工决策的随意性、经验依赖性。经过预案指导的信号控制，交通恢复时间平均缩减 30%-40%，应急处置的标准化、规范化水平明显改善。基于前述评估发现的问题，本文提出针对性的改进策略。为系统展示各项改进措施的预期效果，表一对比了现有控制策略与改进后策略在关键性能指标上的差异。

表1 改进前后信号灯应急控制策略效果对比

性能指标	现有策略表现	改进后策略目标	提升幅度
应急响应时间	8-15分钟	3-5分钟	缩短60%-70%
控制精度	约70%	85%-90%	提高15-20个百分点
车辆平均延误降低	基准值	减少35%-45%	-
排队长度	500-1000米+	缩减40%	减至300-600米
疏散效率	60%-70%预期目标	提高50%以上	达到90%-105%目标
协调控制路口数	3-5个	8-12个	扩大1.6-2.4倍
协调需求满足率	约40%	约75%	提升35个百分点
影响区域平均车速	正常时30%-40%	提高30%	恢复至正常时50%-60%
疏散通道利用率	约55%	提高到75%-85%	增加20-30个百分点

4 结语

突发交通事件下信号灯应急控制属于城市交通管理的

一部分，它的好坏直接关系到事件处置的速度以及城市的安全运行。本文对现有的应急控制策略响应时间、疏散效果、协调能力等各方面表现进行评价，发现响应滞后、精度不够、协调缺乏等主要问题。根据以上问题提出基于实时数据的动态信号优化、区域协调控制和智能调度、多场景应急预案库的创建等改进措施，给信号灯应急控制提供系统化的解决办法。以后将加强对交通感知网络的建设，提高数据采集精度、扩大覆盖面、加深人工智能技术在信号控制中应用，提高系统的自主学习、决策能力，完善区域协调控制机制，从而达到更大范围交通流的调度。

参考文献：

[1] 揭朝富, 于仲安, 朱思琪等. 基于 MC-MIP 的交通信号灯配时研究[J]. 现代电子技术, 2025,48(23):181-186.

[2] 韦敏, 蔡常健. 基于改进深度强化学习的交通信号灯控制[J]. 计算机工程与设计, 2025,46(3):927-933.

[3] 李忠睿, 戴嘉润, 张源等. 面向信号灯违规的无人驾驶仿真模糊测试方法[J]. 小型微型计算机系统, 2025,46(7):1776-1782.

[4] 杨永波, 李栋, 房建东等. 面向嵌入式端的轻量级交通信号灯检测算法[J]. 计算机工程与应用, 2024,60(13):361-368.

[5] 王鼎盛, 丁磊. 基于 MP-DDQN 的智能交通信号灯控制算法[J]. 陕西科技大学学报, 2025,43(2):196-202.

作者简介：赵丹丹（1995-），女，汉族，江苏南京人，本科，助理工程师，研究方向：主要从事交通与电子信息工程的研究工作。