

城市交叉口不同交通流量下自适应信号配时优化研究

吕坚 施明浩

上海市公安局交通管理总队, 上海, 200123;

摘要: 城市交叉口作为交通运行的关键节点, 其信号配时合理性直接影响区域交通效率, 而不同交通流量下的配时适配性, 是解决交叉口拥堵的核心。自适应信号配时依托实时交通数据, 动态调整信号相位时长与周期, 打破传统固定配时难以适配流量波动的局限。文章阐述不同交通流量下交叉口的交通运行特征, 梳理自适应信号配时的优化原理与核心逻辑, 明确配时优化的实施路径及保障措施, 实现不同流量场景下交叉口通行效率提升、延误降低, 为城市交叉口交通管控优化提供理论与实践参考。

关键词: 城市交叉口; 交通流量; 自适应信号配时; 配时优化; 交通效率

DOI: 10. 64216/3080-1508. 26. 01. 032

引言

现在, 城市发展越来越快, 人们出门和货物运输的需求不断变多, 这让城市交通需求一直往上增。城市里的道路交叉口, 是车辆过来又分开的重要地方, 这里的交通流量慢慢显出了三个明显特点, 就是“高峰集中、平峰分散、突发波动”。具体说, 在交通高峰的时候, 固定配时扛不住一下子变多的车, 很容易让交叉口各个进口道的车排成长队, 然后堵车范围变大, 严重影响这一片交通的速度; 在交通平峰的时候, 固定配时没法缩短用不上的信号时间, 经常会出现绿灯亮了却没车走的“信号空放”情况, 让交叉口的道路资源白白浪费; 要是遇到突发的交通流量, 比如突然有一大批车开过来, 或者坏天气让交通流量变乱, 固定配时更没法快速应对这种变化, 不仅容易让交叉口交通秩序变乱, 还会让这一片交通的整体速度变慢, 甚至让发生交通事故的风险变高。所以, 好好梳理城市交叉口在高峰、平峰、突发这三种不同交通流量下的具体运行情况, 弄清楚自适应信号配时在不同情况下该怎么优化、关键参数是什么、具体怎么实施, 已经成了现在提高城市交叉口交通管控精细度、缓解交叉口堵车、保证城市交通系统顺畅运行的重要研究方向和实践重点^[1]。

1 不同交通流量下城市交叉口的运行特征

1.1 高峰时段交通流量运行特征

城市交通高峰, 一般是早上人们上班、晚上下班, 还有白天某些特定时间, 大家集中出门的时候。这个时段里, 交叉口的交通流量有三个核心特点, 分别是“总车数多、车都往固定方向走、持续时间比较稳”。这三

个特点加在一起, 让高峰时段交叉口的交通运行又复杂又紧张。从车辆运行的状态来看, 高峰时段里, 交叉口每个进口道的车都变多了, 车排队的长度普遍很长, 还特别容易出现“排队溢出”的问题。所谓“排队溢出”, 就是某个进口道里等着走的车, 排得太长, 超出了这个进口道能装下的范围, 然后延伸到前面相连的路段。这不会直接挡住前面路段的车正常开到交叉口, 还可能让前面路段和旁边相关的路段也跟着堵车, 最后变成一片区域都堵车的情况。同时, 高峰时段里, 交叉口不同方向的车流量差别很大。有些进口道连着重要的主干道、交通枢纽, 要承担很多跨区域、走长途的车, 经常会出现车满为患的饱和状态; 而另外一些进口道, 连着次要的道路、小路, 车就比较少, 不会达到饱和。这种情况下, 如果还接着用固定的、没有区别的信号配时方案, 就会让车满为患的进口道里, 车等的时间越来越长, 开车的速度大大降低; 而车少的进口道, 信号时间就会用不完, 让交叉口的信号资源白白浪费, 进一步让高峰时段的交通运行变得更不均衡。除此之外, 高峰时段交叉口的交通压力大, 有些司机为了少等一会儿, 就会做出加塞、抢着过路口、闯红灯等违规行为。这些行为会直接打乱交叉口正常的交通秩序, 让交叉口整体的通行速度变得更慢。更要注意的是, 高峰时段里, 如果交叉口发生了轻微的交通事故, 就算没人受重伤、车也没坏得严重, 也会因为车多、车挨车太密, 让交叉口的通行能力一下子降很多, 然后堵车的时间也会变得特别长。所以, 针对高峰时段交叉口的运行情况, 得用更合适的信号配时方案, 优先保证车多的核心方向能顺利走, 这样才能尽量减少堵车范围扩大的风险, 保证交叉口基本的

交通秩序^[2]。

1.2 平峰时段交通流量运行特征

城市交通平峰,一般是在两个高峰时段之间,或者是晚上、节假日,大家出门需求比较少的时候。这个时段里,交叉口的交通流量和高峰时段完全不一样,核心特点可以总结成“总车数少、车到交叉口的时间没规律、每个进口道的车数差不多”。具体来说,平峰时段里,大家整体出门的需求大大减少,交叉口每个进口道的车都明显变少了,车到交叉口的时间间隔普遍很大,不会出现明显的车排队等的情况,交叉口的交通运行压力相对小很多。从不同进口道的车流量分布来看,平峰时段里,没有哪个方向的车会多到饱和,不管是连主干道还是连次干道的进口道,车流量都比较均衡,不会像高峰时段那样,“有的进口道车满了,有的进口道没车”。虽然平峰时段交通压力小,但还是有一个问题,就是“零散的车要频繁地停车、启动”,这个问题会影响通行速度和开车体验。如果平峰时段还接着用高峰时段定好的、比较长的信号周期,就会导致交叉口有些进口道,绿灯亮的时候,要么没车走,要么只有一两辆车走,也就是出现“信号空放”的情况。这种情况会直接浪费交叉口的信号资源,同时让零散的车等的时间变长,开车速度变慢;反过来,如果为了避免信号空放,把信号周期定得太短,又会让车在交叉口频繁地“停车等信号、启动往前走”,这不仅会让司机和乘客觉得不舒服,还会因为车频繁加速、减速,多烧很多油,同时排出更多尾气,和城市提倡的绿色交通理念不符。

1.3 突发时段交通流量运行特征

和高峰、平峰时段不一样,城市交叉口突发时段的交通流量,没有固定的时间规律,也没有固定的车数规律。它的出现,大多是因为各种临时发生的事情,常见的原因有大型演出、体育比赛结束后,大家集中开车走;下雨、下雪、下大雾等坏天气,让交通流量变乱;还有道路临时施工、修管线,导致车不得不改道,然后都集中到某个路口等。这些突发情况,决定了突发时段交通流量的不确定性和波动性。从具体的运行特点来看,突发时段的交通流量主要有两种情况,一种是“短时间内车数突然变多”,另一种是“车走的方向突然变了”。在“短时间内车数突然变多”的情况下,交叉口某个或某几个进口道,会在几分钟到十几分钟里,突然开来一大批车,车的数量远远超过这个时段正常的车流量。这

会让进口道里车排队的长度快速变长,如果这时候交叉口的信号配时方案不及时改,没法给突然变多的车分配足够的通行时间,堵车就会在短时间内从这个进口道扩散到整个交叉口,甚至很快蔓延到旁边相关的道路,最后变成短时间内没法缓解的堵车。在“车走的方向突然变了”的情况下,原本车少、交通压力小的进口道,会因为突发情况,比如道路施工让车改道,出现车突然变多的情况;而原本车流量比较稳的进口道,车可能会突然变少。因为传统的固定信号配时方案,没法快速发现和应对这种方向的突然变化,还是按照原来的车流量分布来分配信号时间,就会让车突然变多的进口道里,车等的时间越来越长,严重的时候,甚至会让这个进口道的车完全动不了,导致交叉口交通瘫痪,这对城市交通应对突发情况的能力,提出了比较高的要求^[3]。

2 不同交通流量下自适应信号配时的优化原理与核心逻辑

2.1 自适应信号配时的优化原理

自适应信号配时的核心原理,是“实时看数据—分析流量特点—改配时参数—看效果再修正”,形成一个循环调整的流程。首先,在交叉口各进口道装流量检测设备,比如地磁检测器、视频检测器。通过这些设备,实时收集车辆数量、车速、排队长度等数据,清楚知道当前车有多少、车都分布在哪些地方。然后,用系统里的算法分析这些数据,判断现在是高峰、平峰还是突发时段,同时弄明白每个进口道的车是否满了,以及哪条流向的车最多、最重要。接着,根据分析结果,改信号配时的参数,包括信号周期长短、每个相位绿灯的时间、黄灯过渡的时间。最后,再用设备实时看调整后的效果。如果还有车等太久、排队长的问题,就再改一次配时参数,直到符合当前的交通流量。

2.2 不同流量下配时优化的核心逻辑

2.2.1 高峰时段: 优先“疏散饱和、控制排队”

高峰时段优化,核心是让交叉口能过更多车,少出现排队溢出。一是按各进口道车的饱和情况,给车多的进口道和核心流向多分配绿灯时间,给车少的进口道少分点,不浪费资源;二是选较长且稳定的信号周期,少换相位,减少车启停。同时预判排队长度,快到溢出时,提前给这个进口道加绿灯时间,防拥堵扩散。

2.2.2 平峰时段: 优先“缩短延误、提升效率”

平峰时段优化,核心是少让车等,不浪费信号。一是用“弹性周期”,车少就缩短周期,车略多就延长,不频繁换相位;二是开“空放检测”,绿灯亮后没车或车少,就提前关绿灯,把剩下的时间给有车等的相位。

2.2.3 突发时段:优先“快速响应、动态适配”

突发时段优化,核心是快适配流量变化,防拥堵。一是设“预警—快调整”机制,某进口道车骤增就预警,多给它绿灯,少给其他非紧急进口道绿灯;二是临时改相位顺序,车集中在某一流向,就跳过没车的相位,只留核心流向相位,车少了再切回常规模式^[4]。

3 自适应信号配时优化的实施路径与保障措施

3.1 配时优化的实施路径

3.1.1 搭建实时数据感知体系

做自适应信号配时,首先要搭好实时数据感知体系。要在交叉口的进口道、出口道和上游路段,装多种检测设备。这些设备要能收集“车流总量、流向分布、排队长度、车速”这四类关键数据。同时要建数据传输网络,让检测到的数据能实时、稳定地传到配时控制中心,不延迟、不丢失,给配时调整提供准数据。

3.1.2 优化配时算法与控制策略

算法是配时优化的核心,要按不同流量特点改算法模型。一是完善“流量—配时”对应关系,用大量历史流量和配时效果数据,训练算法找到不同流量下最好的配时参数;二是给算法加“多因素适配”功能,除了看车流数据,还要加天气、路段施工等信息,比如雨天就多给点绿灯时间,适应车速慢、通行效率低的情况。还要定好控制策略,说清不同流量下,什么时候改配时、改多少、先改哪项,让调整合理有序。

3.1.3 开展效果监测与持续修正

配时改好后,要监测效果并不断修正。实时看交叉口的延误、排队长度、通行速度,判断配时是否合适。长期统计不同时段、不同天气的配时效果,找算法和策略的问题,比如高峰还排队溢出、平峰延误没变好,就针对性改算法参数和策略,形成“实施—监测—修正—优化”的循环,让配时越来越合适^[5]。

3.2 配时优化的保障措施

3.2.1 技术保障:强化设备与算法维护

技术上要做好两点:一是定期修检测设备,按规矩

校准地磁、视频检测器,保证数据准,不让设备坏了导致数据错,影响配时;二是常升级配时算法,城市交通变了(比如新路开通、出行需求变了),就更新算法和参数,用更先进的智能算法,让配时更准、反应更快。

3.2.2 管理保障:明确责任与协同机制

管理上要定好责任,明确交通管理部门管自适应信号配时,负责设备修、算法改、效果评,不搞责任分散。还要和其他部门配合,交通部门要跟道路建设、气象部门沟通,及时要施工、天气预警信息,提前改配时,比如修路前,先优化交叉口配时,适应车流绕行。

3.2.3 标准保障:制定统一的优化规范

要定统一的配时优化规矩,说清高峰、平峰的流量标准,绿灯、周期时长的合理范围,还有延误降低、通行效率提升的达标要求,不让配时优化没规矩可查,保证不同交叉口的配时优化方向对、效果能控制。

4 结语

城市交叉口不同交通流量下的自适应信号配时优化,核心是通过“实时感知、动态适配”,打破传统固定配时的局限,实现不同流量场景下通行效率最大化、延误最小化。通过明确高峰、平峰、突发时段的交通运行特征,匹配对应的配时优化逻辑,再依托数据感知、算法优化、效果修正的实施路径,辅以技术、管理、标准保障,可有效提升交叉口交通管控精准度,缓解交通拥堵。

参考文献

- [1]徐琛辉,马明辉,王栋.城市道路混合交通流道路交叉口信号配时优化方法[J].农业装备与车辆工程,2021,59(04):106-109.
- [2]吴颢,焦钰博,彭其渊.基于ARRB模型的交叉口多目标信号配时优化研究[J].交通运输工程与信息学报,2020,18(02):139-147.
- [3]陈志伟,赵佳虹,张龙飞等.基于交通环境的单交叉口信号配时优化研究[J].公路交通技术,2021,37(05):109-115.
- [4]牟海维,戚先锋,刘彦昌等.单交叉口多目标联合优化的信号配时研究[J].电子测量与仪器学报,2020,34(09):62-68.
- [5]申鑫泽,方筱睿,李昆.混合交通环境下信号交叉口的优化设计[J].河南科技,2020,No.718(20):122-124.