

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。这不仅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。更重要的是，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“实时看数据一分析流量特点—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“疏解饱和、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, 15(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.