

【工程与技术】

面向城市交叉口的 VISSIM 仿真优化研究

陈籽言, 季天剑

(南京航空航天大学 民航学院, 江苏 南京 211100)

摘要:随着城市交通压力的不断加剧,城市交叉口作为交通运行中的“瓶颈”,其对交通效率的影响日益凸显。以某典型城市十字交叉口为研究对象,结合实地调研数据,分析了其在信号配时、渠化设置及交通组织方面存在的问题。针对机动车通行效率低、行人通行安全差等现象,提出了三种综合优化方案,并利用 VISSIM 仿真平台构建微观模型,开展了延误、排队长度与行人行程时间等指标的对比分析。结果表明,优化方案在提升交叉口整体运行效率、缓解高峰期拥堵、改善行人通行条件方面具有显著成效。提出的优化方法可推广到类似城市交叉口的交通组织优化中,具有实际应用价值。

关键词:城市;交叉口;交通系统;组织优化;信号控制;VISSIM 仿真

中图分类号: U 491.2 **文献标识码:** A **DOI:**10.13486/j.issn.2097-4973.2025.04.008

交叉口是城市道路网至关重要的组成部分,也是交通流动的瓶颈区域。交通瓶颈不仅影响交叉口本身的通行能力,还可能波及连接道路,进而影响周边区域的交通效率。尤其是信号交叉口,由于信号配时和交通组织的滞后调整,常常出现信号不匹配、渠化不合理、路权分配不明确等问题,从而导致交通拥堵和环境污染。

近年来,交通组织优化研究聚焦于信号控制、渠化设计和仿真技术三大方向,已形成较为完整的方法体系。在信号控制领域,程俊博系统阐述了交叉口信号控制理论与设计方法,为后续研究奠定理论基础^[1];Zhang 等提出基于强化学习的双层动态控制模型,通过车道与相位协同优化实现交通流高效调节^[2];王爽等结合 Webster 原理开发单点配时与干线协调方案,并通过 VISSIM 验证其有效性^[3];Wonho 等创新性采用蒙特卡洛法消除左转冲突点,显著缩短延误时间与排队长度^[4]。在渠化设计方面,孙斌等通过压缩车道宽度与间距增加导向车道数,提升交叉口通行能力^[5];黄晓磊等对比四种非机动车左转组织模式,认为前置待行区与慢行共板设计对混合交通流适应性更强^[6];徐志红等探讨了交叉口一侧道路拓宽对直行车道运行效率的影响,为右侧空间的合理利用提供设计参考^[7];高建杰等集成渠化、信号控制与出入口管理,构建典型十字路口优化设计流程,兼具流量提升与安全保障价值^[8]。仿真技术因其可量化评估优势成为优化方案验证的核心工具。姬利娜等基于实地数据进行交通组织优化仿真分析,验证了优化措施对延误与排队的改善作用^[9];胡超凡和白如意等分别提出基于 VISSIM 的定量评价方法,通过分析停车时间、排队长度等指标评估方案优劣^[10-11];唐少虎开发了 IAGSO 算法实现仿真参数自动校正,为动态优化

收稿日期:2025-01-20

基金项目:国家重点研发项目(2024YFC3014400)

第一作者简介:陈籽言(2002—),女,湖南衡阳人,硕士研究生,主要从事交通运输研究。

E-mail:chenziyaann@nuaa.edu.cn

通信作者简介:季天剑(1970—),男,江苏响水人,副教授,博士,主要从事通用机场规划设计研究。

E-mail:jitianjian@foxmail.com

提供技术支撑^[12]。针对仿真精度问题,Buck 等提出基于实测数据的参数标定框架^[13];张鹏鹏等利用遗传算法优化 29 种参数组合,显著提升排队长度与延误指标的拟合度^[14];聂欣月等通过敏感性分析界定 VISSIM 参数优化区间,为微观仿真标定提供理论依据^[15]。

现有研究在信号控制优化、渠化设计和仿真评估等方面取得了显著进展,有效提升了交叉口通行效率。然而,多数研究仅关注单一评价指标,如延误或排队长度,缺乏对交通组织方案的多维度综合评估。本研究构建了基于 VISSIM 的多维评价体系,通过整合延误、通行能力、安全性和燃油消耗等关键指标,实现对优化方案的全面评估。

1 现状分析

本文选取某城市主次干道交叉类型的十字路口作为研究对象,该类交叉口通常为重要交通枢纽,时常面临交通流量过大和事故频发等问题。

1.1 交叉口基本情况

本研究通过实地调查收集了该交叉口及其进出口道的现状数据,涵盖了信号配时、车道配置、绿化带设置等多个方面,并绘制了交叉口现状内部细节 CAD 图(图 1)。交叉口主干路为东西走向,四块板断面,中央分隔带宽约 7 m,路幅宽度约 60 m,设计车速为 50 km/h;次干路南北走向,一块板断面,路幅宽度约 28 m,设计车速为 40 km/h。主干道每车道宽 3.5 m,次干道每车道宽 3 m。该区域道路较为宽敞,交叉口面积较大,绿化带设置较长,早晚高峰期间车流复杂。

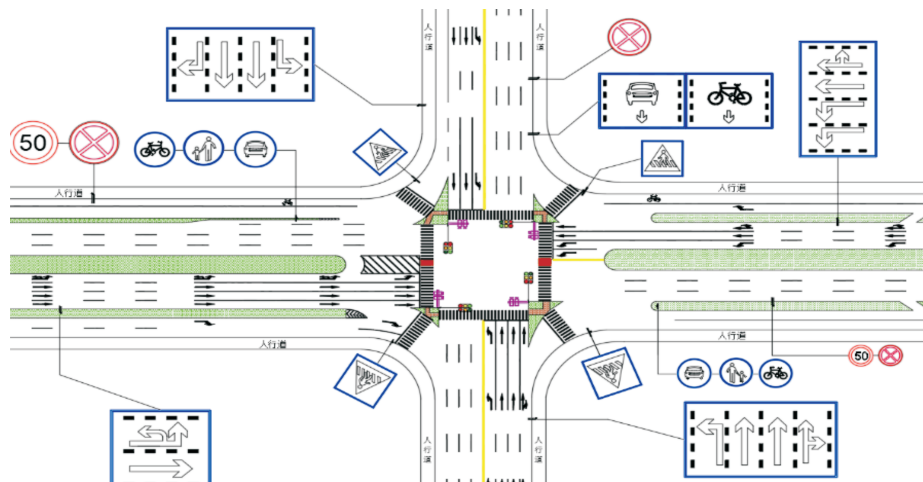


图 1 交叉口内部细节图

1.2 交通流量与信号控制现状

本研究选取周一、周三、周五及周日 4 个特征日,在早晚高峰时段(7:00—9:00,17:00—19:00)采用人工统计与视频采集相结合的方法,对交叉口四向交通流进行观测。针对混合交通特性,依据车辆换算系数(中型车换算系数为 1.5,大型车换算系数为 2.0,拖挂车换算系数为 3.0)将各类车辆统一折算为标准小客车当量。最终以四日高峰时时平均折算流量作为现状交通量表(表 1)。

此交叉口早晚高峰的信号周期为 137 s,信号相位为四相位。相位一是东西方向直行,相位二是东西方向左转,相位三是南进口道直行与左转,相位四是北进口道直行与左转。其中,相位一绿灯时长为 50 s,黄灯时长为 3 s;相位二绿灯时长为 30 s,黄灯时长为 3 s;相位三绿灯时长为 25 s,黄灯时长为 3 s;相位四绿灯时长为 20 s,黄灯时长为 3 s。各相位绿灯时间分配不均,导致部分进口道排队严重,尤其南进口道左转车流量严重积压,且在高峰时段排队长度超过了 50 m,严重影响了交叉口的通行效率。

1.3 现状问题

从实地调研中看出此交叉口存在以下问题:主辅道渠化设计不完善,导致主辅路车流交织,通行效率

降低;东进口道直行与南进口道左转排队长度过长,影响交叉口通行能力;缺乏非机动车专用道,机动车非机动车混行影响安全与效率;交叉口面积大但渠化岛设计不合理,增大行人过街风险;标志标线模糊,缺乏导向性,影响通行秩序。

表 1 交叉口折算后交通流量表

进口道	方向	小车交通量/ (pcu · h ⁻¹)	大车交通量/ (pcu · h ⁻¹)	总交通量/ (pcu · h ⁻¹)	行人流量 (人 · h ⁻¹)	非机动车流量/ (辆 · h ⁻¹)
东	左	156	34	190	99	147
	直	1 044	48	1 092		
	右	72	10	82		
	合计	1 272	92	1 364		
西	左	217	24	241	187	234
	直	1 152	38	1 190		
	右	234	32	266		
	合计	1 603	94	1 697		
南	左	425	10	435	116	192
	直	113	12	125		
	右	70	8	78		
	合计	608	30	638		
北	左	164	10	174	176	174
	直	171	16	187		
	右	192	14	206		
	合计	527	40	567		

2 交通组织优化方案设计

2.1 设计原则

交通分离原则。为避免交通冲突,需在时间和空间上有效区分不同方向及类型的交通流,空间上的分离依托交通标线与设施布设,时间上的分离则通过合理的信号灯相位设置得以实现。

交通连续性原则。需保障交通流在运行过程中的连贯性,防止因道路设计不当造成交通中断。例如,在实施交通渠化设计时,应确保道路的车道走向与交叉口的通行方向一致,进口与出口导向车道设置协调,以提升通行效率。

交通负载均衡原则。通过合理调控车流,减少特定节点的交通压力,实现路网整体负荷的均匀分布。优化策略包括根据时段与车流变化调整配时方案,避免单点拥堵影响整体通行能力。

以人为本的通行便利性原则。交通组织应立足于满足大多数交通参与者的出行需求,特别关注行人和非机动车等弱势群体的安全与便利。在面对交通资源有限的情况下,应依据不同交通方式的运行特征,科学配置通行优先级,灵活调整路权分配,构建高效、有序的交通环境。

2.2 设计思路

交通组织优化方案将从渠化优化、信号控制优化和交通管理优化三个方面进行设计。针对南进口道的左转车流量大、车道不足的问题,设计了两种渠化方案:方案一为占用对向车道,增加一条左转车道

(图2);方案二为重新划分车道功能,将最左侧的一条直行车道改为左转车道(图3)。

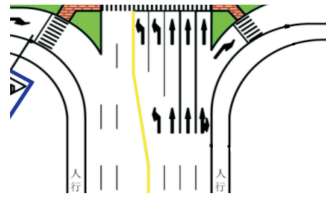


图2 方案一

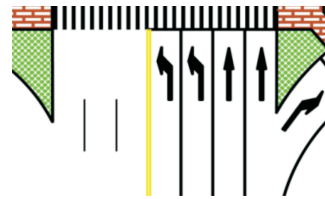


图3 方案二

考虑到交叉口内非机动车较多,应在交叉口处设置一些非机动车导流线,引导其行驶。由于原交叉口面积较大,行人过街距离较长,转弯处没有信号灯控制,且东西进口处存在行人与右转车辆交织问题,严重影响行人安全及车辆通行效率,因此,过街长度应控制在合理范围内,并重新设置交叉口内各渠化岛面积。

信号控制优化方面,信号配时的调整将基于 Webster 法进行优化。通过计算可得,在第一种渠化情况下,其信号控制可优化方案如下:一相位(东西直行)的绿灯时间为 46 s,黄灯时间为 3 s;二相位(东西左转)的绿灯时间为 24 s,黄灯时间为 3 s;三相位(南向左直)的绿灯时间为 21 s,黄灯时间为 3 s;四相位(北向左直)的绿灯时间为 17 s,黄灯时间为 3 s;整个信号周期为 120 s。在第二种渠化情况下,其信号控制可优化方案如下:一相位(东西直行)的绿灯时间为 43 s,黄灯时间为 3 s;二相位(东西左转)的绿灯时间为 22 s,黄灯时间为 3 s;三相位(南向左直)的绿灯时间为 34 s,黄灯时间为 3 s;四相位(北向左直)的绿灯时间为 17 s,黄灯时间为 3 s;整个信号周期为 128 s。

此外,交通管理措施的优化还包括完善道路标志和标线,纠正行人和非机动车的违法行为,加强交通法规宣传,并在交叉口内设置机动车与非机动车导流线,减少交通流冲突。通过加强交通管理和秩序整治,提高交叉口的通行能力和安全性。

综上,优化方案一为在现状渠化基础上采用第二种信号配时方案;优化方案二为采用第一种渠化方案以及第一种信号配时方案;优化方案三为采用第二种渠化方案以及第二种信号配时方案。各方案均采用优化后的交通管理措施。

3 仿真分析与方案评估

3.1 现状仿真模型构建

根据调研结果,对此交叉口在 VISSIM 中进行现状仿真。首先导入 CAD 底图作为背景并创建路网、设置基础数据(包括驾驶行为、车型分布以及期望车速分布)、流量输入、车辆路径、行人路径、冲突区域以及检测装置,并根据实际相位配时情况设定信号控制机。在设置行人路段时,需要对渠化岛、人行道等区域绘制面域,作为行人发生吸引的区域,设置行人过街道路并将其作为行人面域使用,添加斑马线标识。现状仿真运行图如图4所示。

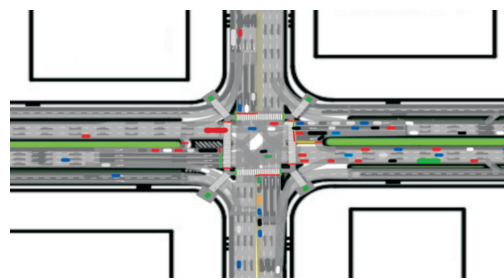


图4 现状仿真运行图

3.2 VISSIM 参数标定及模型校验

为提高仿真模型在混合交通流环境下的拟合精度,本文选取 Wiedemann 74 跟驰模型作为基础驾驶行为建模框架,并针对其核心参数进行优化标定。经过多次优化调参,最终得到的参数如下:安全距离折减系数为 0.75,安全距离附加部分为 2.4 m,安全距离倍数部分为 2.8,平均停车间距为 2.2 m,最小车头间距为 0.5 m,跟车最大减速度为 $-3.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,自身最大减速度为 $-4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。当前 VISSIM 的参数适用于特定的交叉口设计,但在不同车道数、信号控制方式、高低峰时段下,可以通过调整参数以优化性能。此外,还可以对让行规则的关键参数进行设定,以同时考

考虑机动车、行人及非机动车的交互行为。

同时,利用实测数据进行模型校验,仿真运行 3 600 s,随机种子 42,运行 10 次,得到现状的仿真模型与实际交通情况数据的评价指标误差如表 2 所示。其中,车辆平均延误误差为 5.24%,平均排队长度误差为 4.85%,结果在允许误差范围。因此,仿真模型达到仿真精度要求。

表 2 评价指标误差分析

进口	车辆平均延误			平均排队长度		
	调查时间/s	仿真时间/s	误差/%	调查长度/m	仿真长度/m	误差/%
东	36	38.39	6.64	75	78.68	4.90
西	35	36.76	5.03	42	40.32	4.00
南	63	66.44	4.76	55	58.26	5.93
北	53	55.40	4.53	28	29.28	4.57
平均值			5.24			4.85

3.3 现状与优化仿真对比及评价

在 VISSIM 中分别运行现状以及各优化方案,运行时间为 3 600 s,随机种子为 42,运行 10 次。根据 VISSIM 的仿真结果,输出各方案下的评价指标,分别是延误时间(表 3)、排队长度(表 4)以及行人行程时间(表 5)。

表 3 交叉口各方案延误时间

单位:s

进口	现状	方案一	方案二	方案三	进口	现状	方案一	方案二	方案三
东	38.39	34.44	38.94	31.16	北	55.40	43.87	54.13	47.80
西	36.76	41.24	41.76	36.37	平均值	43.72	37.38	40.48	35.04
南	66.44	38.87	42.36	45.91					

表 4 交叉口各方案平均排队长度

单位:m

进口	现状	方案一	方案二	方案三	进口	现状	方案一	方案二	方案三
东	78.68	72.24	50.79	48.12	北	29.28	22.84	24.92	16.71
西	40.32	41.62	26.14	27.08	平均值	51.64	42.85	32.29	28.17
南	58.26	34.70	27.31	20.78					

仿真结果表明,方案三在缩短车辆延误时间、排队长度以及行人行程时间方面效果最佳。与现状相比,方案三 4 个进口道延误时间平均减少 19.8%,其中,南进口道延误时间降低得最显著;4 个进口排队长度平均减少 45.4%;行人行程时间(包括过街等待时间)缩短了 12.6%。由此可以看出,进行交通组织优化后,行人过街等待时间缩短,在一定程度上减少了行人与车辆间的冲突,保证行人安全。由于设置了非机动车道以及导流线,非机动车的通行效率也在一定程度上得到提高。根据交叉口各引道延误情况还可以得到交叉口服务水平,优化前后服务水平提高主要体现在南进口道,由原先的 E 级上升至 D 级。

综上所述,方案三是提高该交叉口运行效率的最佳方案。该方案不仅显著提高了车辆的运行效率,还在一定程度上减少了行人的行程延误时间,降低了车辆与行人之间的冲突风险,适用于该交叉口的交通组织优化。在交通组织优化方案中,除了技术效果外,经济性也是决策时的重要考虑因素。经过交通组织优化后,如果交叉口延误减少、排队长度缩短及通行效率提升,那么每年就可以节省更多的社会成本,包括减少燃油消耗、尾气排放及交通事故。且根据成本效益分析,方案三在长期经济效益方面更为突出,其投资

回报率更高,显示出良好的经济可行性。

表5 交叉口各方案行人行程时间

单位:s

进口	现状	方案一	方案二	方案三	进口	现状	方案一	方案二	方案三
东	81.77	82.26	66.16	64.25	北	96.22	95.35	82.52	78.71
西	71.79	70.27	75.30	77.16	平均值	83.22	80.23	74.63	72.70
南	83.11	73.03	74.53	70.69					

4 结论与展望

本文针对某城市中主次干道交叉进行了调查,发现该类交叉口存在进口道左转延误时间长、交叉口面积大,但利用率低、车辆逆行和违规停放、行人易与右转车辆产生冲突等问题。通过VISSIM软件,依据交叉口实际情况进行参数标定和模型校验,验证了模型的有效性。接着,根据现状和优化原则,对交叉口从交通管理、渠化和信号控制三个方面进行交通组织优化设计,并在VISSIM中实施了优化方案仿真,分别通过平均车辆延误和平均排队长度以及行人行程时间这三个指标评估方案效果。最后通过仿真研究及效果对比,将方案三选为最佳优化方案。

本研究虽然聚焦于城市信号控制的十字路口,但通过对该交叉口交通流量、信号控制和车道配置的深入分析可知,所提出的优化方法也可适用于其他交叉口。未来的研究可以在此基础上再进一步探索以下几个方向。

第一,进一步考虑非机动车与行人交通行为的建模。目前研究主要聚焦于机动车交通流,对于非机动车和行人的通行行为考虑不足。未来可通过微观交通仿真引入更精细的行人与车辆交互模型,以全面评估交通组织方案的适应性与安全性。

第二,交通组织方案在多种交通条件下的适应性分析。本研究基于特定交通流条件进行方案优化,未来可扩展至不同流量水平、不同天气或特殊事件条件下的适应性测试,以增强方案的普适性和鲁棒性。

第三,环保和可持续发展。交通组织优化设计将朝着环保和可持续发展的方向发展,如优化设计路线、采用环保材料等方式、协调城市道路的建设 and 生态环境的保护、实现城市交通的可持续发展。

第四,引入智能交通系统技术辅助优化。结合实时交通数据与车联网技术,进一步提升参数标定精度与交通控制策略的动态响应能力,为智慧交叉口管理提供数据支持与算法基础。

参考文献:

- [1] 程俊博. 西安市明城墙南门盘道交通组织优化分析[D]. 西安:长安大学,2012.
- [2] ZHANG L, ZHAO Q, WANG L, et al. Urban intersection signal control based on time-space resource scheduling[J]. IEEE Access, 2021, 9:49281-49291.
- [3] 王爽,陈伟伟,刘孟龙,等. 基于Webster原理的中小城镇道路交叉口组织优化及信号控制[J]. 工程技术研究, 2022, 7(19):7-9.
- [4] WONHOUH S, HUNTER M P. Signal design for displaced left-turn intersection using Monte Carlo method[J]. KSCE journal of civil engineering, 2014, 18:1140-1149.
- [5] 孙斌. 城市道路平面交叉口交通组织与渠化设计分析[J]. 四川水泥, 2020(4):95.
- [6] 黄晓磊,杨林山,邱猛,等. 道路交叉口非机动车左转通行交通组织设计方法[J]. 汽车与安全, 2020(6):76-84.
- [7] 徐志红,戈若愚. 城市道路平面交叉口进口道交通组织优化研究[J]. 城市道桥与防洪, 2023(1):45-47.
- [8] 高建杰,韩怡. 典型十字路口交通组织优化设计:以某市法院路口为例[J]. 四川警察学院学报, 2020,

32(2):59-70.

- [9] 姬利娜,晏永廷,晏子.城市道路平面交叉口交通组织优化设计[J].交通工程,2022,22(1):60-66.
- [10] 胡超凡,许奇,朱锦.平面交叉口渠化设计方法研究[J].交通运输系统工程与信息,2011,11(增刊1):36-42.
- [11] 白如意,汪涛,付晶燕,等.基于 VISSIM 仿真的交叉口信号配时优化设计[J].物流科技,2022,45(1):80-83.
- [12] 唐少虎. VISSIM 仿真参数自校正方法研究与实现[D].北京:北方工业大学,2013.
- [13] BUCK H S, MALLIG N, VORTISCH P. Calibrating VISSIM to analyze delay at signalized intersections [J]. Transportation research record, 2017, 2615(1):73-81.
- [14] 张鹏鹏,刘鼎,谢秉磊.基于 VISSIM 的微观交通仿真模型参数标定研究[J].价值工程,2020,39(28):189-193.
- [15] 聂欣月,单籽跃,周晨静,等.面向微观仿真参数敏感区间的参数选取:以交织区为例[J].科学技术与工程,2022,22(33):14944-14950.

VISSIM simulation optimization study for urban intersections

CHEN Ziyan, JI Tianjian

(College of Civil Aviation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics,
Nanjing 211100, China)

Abstract: With the increasing pressure on urban transportation systems, signalized intersections have become critical bottlenecks affecting traffic flow. This study investigates a typical urban four-leg intersection through field surveys and identifies key issues related to signal timing, channelization design, and overall traffic organization. Three comprehensive optimization schemes are proposed and evaluated by means of a microscopic VISSIM simulation model. Key performance indicators such as vehicle delay, queue length, and pedestrian travel time are used for quantitative analysis. The Results show that the optimized schemes significantly improve intersection performance and enhance pedestrian safety during peak hours. The proposed optimization methods can be extended to traffic organization optimization in similar urban intersections, demonstrating practical application value.

Keywords: urban; intersection; transportation systems; organization optimization; signal control; VISSIM simulation

(责任编辑:王新亮)

引用格式 陈籽言,季天剑.面向城市交叉口的 VISSIM 仿真优化研究[J].山东航空学院学报,2025,42(4):58-64.

CHEN Z Y, JI T J. VISSIM simulation optimization study for urban intersections[J]. Journal of Shandong University of Aeronautics, 2025, 42(4):58-64.