

关键交叉口优化对路网运行效率的影响研究

龚华凤^{1,2}, 陈俊成^{1,2}, 刘庆^{1,2}, 肖洁^{1,2}, 丁梦娇^{1,2}

[1.林同棣国际工程咨询(中国)有限公司,重庆市401121; 2.重庆市山地城市可持续交通工程技术研究中心,重庆市401121]

摘要:随着机动车保有量的增加,城市路网拥堵情况日益严重。交叉口作为城市路网的咽喉,其服务水平直接影响到整个路网的运行效率。以重庆市民族路-新华路路口为例,基于现场交通调查数据,明确交叉口的现存问题,采用Synchro(设计软件)对该路口进行建模分析。通过优化信号配时和车道功能划分后,交叉口延误降低了71.6%,服务水平从D提升至B。同时,采用VISSIM(仿真软件)对重庆市渝中区解放碑商圈整体路网和该关键交叉口影响的区域路网进行建模分析,并对路网优化前后的车辆运行状况进行对比。结果表明,通过优化,影响区域路网的平均延误下降了17.74%,平均行车时间下降了13.46%,平均停车次数下降了17.18%,尾气排放也有所减少,关键路口优化对路网运行效率的提升作用明显。

关键词:交叉口优化;交通仿真;信号配时;信号交叉口;城市路网

中图分类号:U491

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2023)08-0019-04

0 引言

随着城市人口密度日益增大,居民出行需求逐渐增多,如何提高城市中心区路网运行效率成为交通管理者和设计人员的重点工作之一^[1]。交叉口是城市路网的重要组成部分,当关键交叉口出现交通问题时,不仅会影响该路口各个方向的交通运行效率,还会影响到与该路口相邻的几个路段甚至整个路网的有效运行。对于城市中心区而言,道路网密集,规划用地稀缺,交通改造应避免大拆大建^[2],交叉口信号配时和车道功能划分优化是提高运行效率的重要手段。

仿真软件是信号控制交叉口优化的常用工具,通过仿真进行交叉口优化的研究应用较为广泛。马晓旦等^[3]利用VISSIM(仿真软件)对优化前后的交叉口进行仿真,论证了运用VISSIM对交叉口进行优化设计,可以降低交叉口车辆的冲突,提高交叉口的通行能力。马建明等^[4]研究了独立信号交叉口,提出基于微观仿真模型的信号交叉口交通组织优化方法。韩义磊等^[5]从车道功能划分和信号配时两方面提出交叉口的交通组织优化设计方案,并利用VISSIM进行优化前后建模仿真,论证了交通组织优化设计方案的可行性。张诚等^[6]通过VISSIM对路口

进行优化,对污染排放物和油耗量进行了分析。

综上所述,目前利用仿真软件进行信号优化已经有了广泛研究,但通过交叉口优化对受其影响的路网进行优化的研究分析较少。本文以重庆市民族路-新华路路口为例,通过Synchro(设计软件)对该交叉口进行信号优化,再通过VISSIM对受该交叉口影响的路网进行建模,对优化情况进行系统分析和比较。通过对平均停车延误、平均排队长度、平均停车次数以及尾气排放等进行对比,验证关键交叉口优化对整体路网运行效率提升的有效性。

1 交叉口现状

1.1 交叉口概况

民族路-新华路交叉口位于重庆市渝中区商圈,由东西向的民族路和南北向的新华路交汇而成。新华路连接解放碑步行街和来福士商圈,民族路连接千厮门嘉陵江大桥和东水门长江大桥,因此该交叉口承载着较大的交通量,在晚高峰存在拥堵的现象,故对该交叉口进行优化对整片路网运行效率的提升有重大意义。

1.2 交通量调查与数据统计

本研究交通量数据统计采用人工观测法,选取晚高峰17:00—19:00时段,在民族路-新华路交叉口的每个进口道均安排一名观测人员,记录车道信息、不同流向的车流量和信号控制相位。通过对调查数据进行车型换算,得出民族路-新华路交叉口车道信息和晚高峰小时交通量(见表1)。

收稿日期:2022-10-19

基金项目:重庆市建设科技项目(城科字2020第4-2)

作者简介:龚华凤(1972—),男,博士,教授级高级工程师,从事可持续道路交通设计工作。

表 1 交叉口车道信息和交通量汇总						
进口方向	车道/条	车道类型	交通量/(pcu·h ⁻¹)			
			左转	直行	右转	合计
西进口	2	左转/直行,右转/直行	264	528	132	924
东进口	3	左转、直行、右转	168	408	228	804
南进口	2	左转/直行,右转	96	108	360	564
北进口	1	右转	0	0	60	60

1.3 交叉口信号相位及配时

民族路-新华路交叉口晚高峰采用定时控制的四相位配时方案,信号周期时长为 90 s,黄灯时间为 3 s。根据交通调查,现状相位匹配和配时方案如图 1 所示。

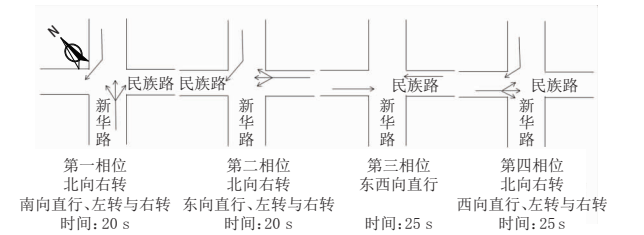


图 1 交叉口现状相位图

1.4 交叉口模型构建

将实地调查得到的交叉口晚高峰的车路几何数据、交通流量、当前信号配时方案等数据,输入到 Synchro 模型中,模拟该路口的交通运行状态,并在各个进口道记录各个方向车辆的运行特征,将各指标参数进行统计。Synchro 模型仿真如图 2 所示。

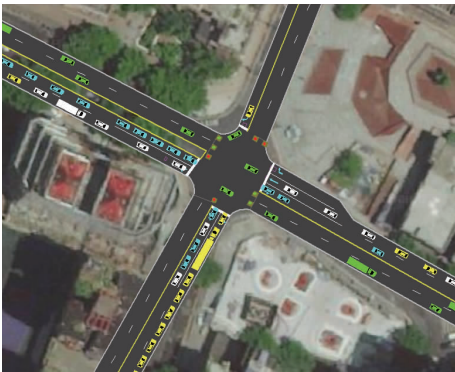


图 2 Synchro 仿真效果图

根据统计参数,选取了平均排队长度、车均延误时间和平均停车次数作为仿真评价指标,对交叉口的通行效率进行评价(见表 2)。

表 2 交叉口现状通行效率评价				
方向	延误/s	排队长度/m	停车/次	服务水平
西进口	73.3	87.7	642	E
东进口	27.3	56.1	557	C
南进口	23.0	38.0	229	C
北进口	0.2	0	0	A

根据仿真结果,该路口平均延误为 43.7 s,服务水平为 D,在晚高峰时段较为拥堵。综合交通问题最严重的是西进口,综合饱和度(V/C)为 1.05,服务水平为 E,延误、排队长度和停车次数都高于其他流向。该流向的交通量大、车道数少是交叉口拥堵的主要原因,可以通过配时和车道功能优化对该交叉口进行改善。

2 交叉口优化方案分析

2.1 配时方案优化

Synchro 在单点交叉口信号配时方案设计中,周期时长和相位时间是其最主要的两个设计参数^[7]。信号配时优化模块和周期优化模块都在满足一定的百分比的车道组交通流量(例如 90%或 70%车道组交通流量)的情况下进行优化。

通过 Synchro 对交叉口进行信号配时优化,以交叉口的最大通行能力为前提,以最大限度减少车辆延误为目的,优化周期时长和信号配比。根据左转交通量与直行交通量的比例,可以选取左转保护相位与允许相位相结合的方案来进行配时优化。优化后的方案如图 3 所示。

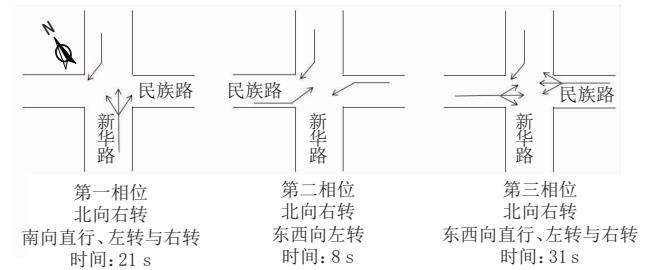


图 3 优化后相位与配时图

优化后也将平均排队长度、平均延误和停车次数作为评价指标,对交叉口的通行效率进行评价(见表 3)。

表 3 优化后交叉口通行效率评价				
方向	延误/s	排队长度/m	停车/次	服务水平
西进口	17.0	29.9	480	B
东进口	10.9	35.2	390	B
南进口	15.0	20.7	281	B
北进口	0.2	0	0	A

根据优化结果统计,交叉口的运行效率得到了明显提升,总体服务水平从 D 提升到了 B,延误时间降为 14 s,降低了 68%。西进口改善最为明显,服务水平由 E 提升到了 B,延误时间降低了 76.8%,排队长度降低了 65.9%,停车次数下降了 25.2%,较大幅度地提升了交叉口的运行效率。

2.2 车道功能划分优化

不同的车道功能划分,将使交通流在时间和空间上产生分流和合流,从而影响整个信号交叉口的通行能力^[8]。在信号配时优化后,再对车道功能划分进行进一步优化,合理分配机动车空间通行权。该交叉口东进口左转车辆较少,仅占该入口所有车辆的20%,而直行车道的车辆占比为51%。可以将左转专用道设置为与西进口相同的左转直行混合车道,减少直行车道的延误和停车时间,从而优化整个进口的运行效率。优化后的车道功能划分如图4所示。

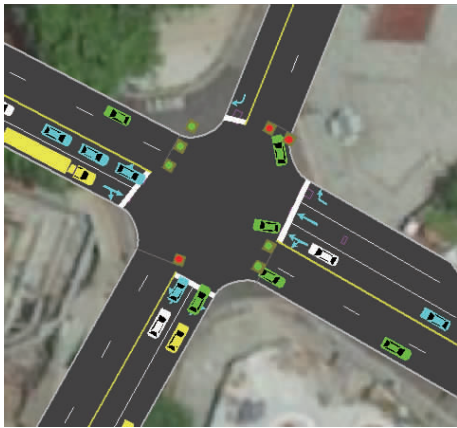


图4 车道功能划分优化效果图

通过模型对车道功能划分和配时方案同时进行优化,然后进行仿真测试,优化后也将平均排队长度、平均延误和停车次数作为评价指标,参考美国公路通行能力手册(HCM)得出信号交叉口服务水平^[9]。评价结果(见表4)。

表4 二次优化后交叉口通行效率评价

方向	延误/s	排队长度/m	停车/次	服务水平
西进口	15.8	29.9	485	B
东进口	7.7	17.0	350	A
南进口	15.0	20.7	282	B
北进口	0.2	0	0	A

综上,车道功能划分与信号配时同时优化后,交叉口延误水平得到进一步优化。交叉口延误时间降低到了12.4 s,降低了71.6%。东进口在双重优化后,改善效果明显,服务水平从最初的C提升到了A,延误时间降低了71.8%,排队长度降低了69.7%,停车次数下降了37.2%。

3 交叉口优化对路网的影响

3.1 路网模型的建立

民族路-新华路路口主要影响区域为重庆市渝中区解放碑商圈路网。该地区建筑密度大,商贸集

中,人口十分密集,附近的道路常年拥堵,交通问题非常严重。该路网由5条主干路、13条次干路和29条支路组成。区域路网如图5所示。

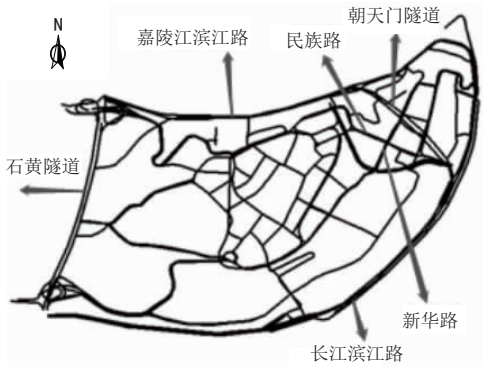


图5 解放碑商圈路网示意图

VISSIM是德国PTV公司开发的微观仿真软件,它是一个离散的、随机的微观模型。VISSIM能够模拟许多城市内和非城市内的交通状况,特别适合模拟各种城市交通控制系统^[10]。

为了研究交叉口优化对路网的影响,采用VISSIM对重庆市解放碑商圈路网主干路和次干路进行了搭建,通过微波数据获取了路网交通流量,通过地理信息系统(GIS)获取了道路网数据。搭建后仿真模拟效果如图6所示。

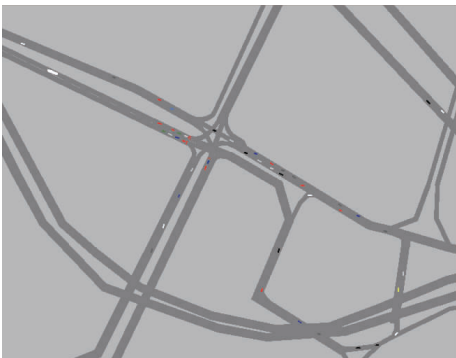


图6 VISSIM仿真效果图

根据对路网的分析,选取了3段经过该交叉口的重要次干路段:WFC金融中心至东水门长江大桥入口,东水门桥头至洪崖洞景区,协信星光广场至重庆来福士。在这3条路段设置数据采集点,对这3条路段上行驶车辆的运行效率进行对比,以此分析该交叉口对区域路网的影响。

3.2 仿真结果分析

对3条重要次干路段进行评价,选取平均停车延误、平均停车次数、行车时间3个参数^[11]。行车效率对比见表5。

机动车在行驶过程中产生的尾气排放是造成环境污染的重要因素,运行效率的水平也将直接影响

表 5 优化前后行车效率对比

路程 编号	优化前			优化后		
	行程 时间 /s	平均 延误 /s	平均 停车 / 次	行程 时间 /s	平均 延误 /s	平均 停车 / 次
1	271.375	127.4	3.47	239.175	101.75	2.84
2	186.750	57.8	1.50	165.650	53.70	1.38
3	169.050	74.4	1.84	137.950	58.10	1.41

车辆尾气排放量。在此评价中选取大气挥发性有机物(VOC)、氮氧化合物和 CO 三个尾气排放参数^[12],将优化前后排放量进行对比,结果见表 6。

表 6 优化前后排放量对比

单位:g

优化前			优化后		
VOC	氮氧化合物	CO	VOC	氮氧化合物	CO
141.88	113.72	569.02	123.00	103.26	530.72

由交叉口优化前后的结果对比可得,区域路网的运行效率明显提高,3 条主要次干路的平均行车时间降低了 13.46%,平均延误时间降低了 17.74%,平均停车次数降低了 17.18%。尾气的排放量也有所下降,VOC 排放下降了 13.31%,氮氧化合物下降了 9.20%,CO 排放下降了 6.73%,对城市低碳绿色转型有积极的作用。优化前后通行效率的具体参数见表 7。

表 7 优化前后路网通行效率对比

对比项目	优化前	优化后	优化效果
平均行车时间 /s	209.10	180.90	13.46%
平均延误 /s	86.50	71.20	17.74%
平均停车 / 次	2.27	1.88	17.18%
VOC 排放 /g	141.88	123.00	13.31%
氮氧化合物排放 /g	113.72	103.26	9.20%
CO 排放 /g	569.02	530.72	6.73%

4 结 语

在不改变交叉口几何形态并可减少人力物力消耗的前提下,优化交叉口信号配时是目前较普遍的优化措施。本研究以重庆市民族路-新华路交叉口为例,基于实地调研获得现状交通量数据、车道功能划分,并结合交叉口实际情况,对该交叉口的信号配时和车道功能划分进行优化。

首先,基于 Synchro 仿真平台,建立交叉口仿真

模型,对优化前后的交叉口进行仿真测试,以平均延误、平均排队长度、停车次数 3 个指标对交叉口运行效率进行评价。对优化结果进行系统分析可得:交叉口优化前后,总体服务水平从 D 提升到了 B,延误时间降为 12.4 s,降低了 71.6%。

其次,基于 VISSIM 平台,建立该交叉口所在的区域路网仿真模型,对该交叉口影响的 3 个关键次干路的交通运行状况进行仿真模拟,分析交叉口对区域路网的影响。通行效率选取行程时间、平均延误和平均停车次数 3 个评价指标,尾气排放选取 VOC 排放量、氮氧化合物排放量、CO 排放量 3 个评价指标。根据仿真结果,影响区域路网的平均延误下降了 17.74%,平均行车时间下降了 13.46%,平均停车次数下降了 17.18%,尾气排放也有所减少,关键路口优化对区域路网运行效率的提升作用明显。

本研究为关键交叉口优化对路网运行效率的提升提供了证明,该系统研究方法对于路网优化工程项目有借鉴作用,也可为今后交通管理或规划提供参考。

参考文献:

[1] 龙科军,李磊,肖向良,等.城市路网交通运行效率评价[J].中南大学学报:自然科学版,2013(S1):430-435.

[2] 杨强,杨波.山地城市中心区城市道路改善对策研究——以重庆市渝中区为例[J].重庆建筑,2019,18(5):15-18.

[3] 马晓旦,刘杰.基于 VISSIM 的控江路与伦化路交叉口优化设计[J].物流科技,2019,42(7):68-70.

[4] 马建明,任福田,刘小明,等.信号交叉口交通组织优化设计[J].北京工业大学学报,2001,27(2):237-239.

[5] 韩义磊,韩印,胡荣.基于 VISSIM 仿真的交叉口交通组织优化设计[J].物流科技,2021,44(9):83-86.

[6] 张诚,季文倩,谢衍.基于 VISSIM 仿真的交叉口信号优化配时综合评价[J].物流工程与管理,2019,41(9):127-130,139.

[7] 顾佳磊,韩印,姚佼.基于 Synchro 与 VISSIM 混合仿真的单点交叉口信号配时优化方法研究[J].森林工程,2014,30(4):94-97.

[8] 魏婧.信号控制交叉口车道功能划分优化设计仿真[J].交通世界,2018(24):9-11.

[9] 常争艳,贾志绚,武美先.信号配时与交通设计协同优化[J].2010,31(1):38-41.

[10] 魏明,杨方廷,曹正清.交通仿真的发展及研究现状[J].系统仿真学报,2003,15(8):1179-1183.

[11] 巩舜妹,刘发明,冯松宝,等.基于 VISSIM 仿真的道路交叉口信号配时优化设计[J].宁夏师范学院学报,2020,41(7):40-44.

[12] 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):80-83,95.