

基于微观交通仿真的信号交叉口优化*

范朋朋, 朱兴林, 张乐, 饶彪

(新疆农业大学 机械交通学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 信号控制交叉口是城市交通网络的重要组成部分,其畅通与否直接影响整个城市道路网络的正常运行。文中以乌鲁木齐市农大东路与南昌路十字路口为例进行 Webster 法配时优化,并利用 VISSIM 软件仿真对比分析优化前后交通状况,为乌鲁木齐市其他交叉口信号控制提供参考和思路。

关键词: 城市交通;交叉口;信号控制;微观仿真

中图分类号:U491.2

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2017)04-0028-04

近年来,随着乌鲁木齐市经济的快速发展,人口数量和机动车保有量持续增长,交通拥堵日益严重,交叉口成为限制城市发展的瓶颈。解决平面交叉口交通冲突的重要措施是从时间或空间上分离平面交叉口的车流,减轻交叉口交通压力。目前许多道路交叉口所用的信号配时是很久以前设计的,不适合于高度城市化的现代交通。同时由于道路网规划和城市总体规划是多年前制定的,城市土地已规划完成,难以修改,不可能按照交通需求重新修建新的道路。因此,必须合理优化利用现有交叉口。

国内对于信号交叉口的信号配时优化、道路渠化及仿真研究起步较晚,虽然也有对信号配时优化和道路渠化的相关研究体系,但由于中国道路交通流特性复杂,各城市的交通组成比例不一,各城市在优化交叉口时需结合自身交通流特性具体问题具体分析。李世武等利用 TSIS 微观交通仿真软件对长春市工农广场交叉口的交通运行状况、优化情况进行了仿真模拟。TSIS 是美国联邦公路针对城市路网和高速公路交通流而研发的一款仿真软件,主要针对高速公路、干线、交叉口及各种车辆控制策略的仿真模拟,在车流量分配算法方面存在不足,使交通事故和出行者信息引起的交通量转移难以进行。周志浩等提出应用 VISSIM 仿真软件与信号配时相结合的信号交叉口优化方法,并将其应用于交叉口优化实例中。相对于 TSIS,VISSIM 软件可模拟多种信号控制,特别适合城市交通系统仿真,还可为用户提供 2D 和 3D 动画展示路网中车辆的行驶情况,但

对计算机硬件要求较高。该文采用 VISSIM 对乌鲁木齐市南昌路与农大东路交叉口进行仿真模拟。

1 交叉口交通现状分析

交通信号控制方案的实施效果受交通流、道路几何尺寸等因素的影响,为了了解这些影响因素的相关作用,需实地调查或仿真模拟道路情况。其中实地调查成本花费较大,且会影响现有交通运行,而仿真模拟技术不仅可真实有效地模拟道路情况,还省时省力。

模拟仿真的前期工作是仿真参数的采集,要求其准确无误,否则将导致仿真失败。仿真参数主要包括交通流量、道路基本几何尺寸、延误时间和信号灯配时。

1.1 交通量采集与分析

乌鲁木齐市南昌路与农大东路交叉口早、晚高峰时非常拥挤,对新疆农业大学广大师生的出行造成不便。该交叉口信号配对情况见表 1。2016 年 12 月 25 日对该交叉口进行流量调查,结果见表 2。

表 1 乌鲁木齐市南昌路与农大东路
交叉口现状信号周期

相位	进口道	红灯时长	黄灯时长	绿灯时长	周期
第一相位	东向西	72	3	40	115
	西向东	72	3	40	115
第二相位	南向北	70	3	42	115
	北向南	70	3	42	115

* 基金项目: 新疆农业大学国家大学生创新创业训练计划项目(201610758033);新疆农业大学大学生创新项目(jqzyp62012109)

表 2 乌鲁木齐市南昌路与农大东路交叉口
高峰小时流量统计

进口道	车道	交通量/(pcu·h ⁻¹)		交通量 所占 比例/%	左转交通 量所占 比例/%
		各向 交通量	合计		
东进口	左转	39			
	直行	74	559	20.14	1.40
	右转	446			
西进口	直行	111	171	6.16	0.00
	右转	60			
南进口	右转	119	323	11.64	0.00
	直行	204			
北进口	左转	1 467			
	直行	92	1 722	62.06	52.86
	右转	163			

由表 2 可知:该交叉口车流量较大的进口为北进口,其交通量达 1 722 pcu/h,占该交叉口交通量的 62.06%,其左转车辆数占整个进口道交通量的 52.86%。由于该交叉口未设置专用左转信号相位,左转车辆会对对向车道直行和右转车辆造成影响,增加行车延误,存在安全隐患。

1.2 信号交叉口延误

城市信号控制交叉口延误—服务水平分级标准见表 3。

采用美国《道路通行能力手册》(HCM)推荐的方法计算信号交叉口延误,公式为:

$$d = PF(d_1 + d_2) \tag{1}$$

表 3 城市信号控制交叉口延误—服务水平分级标准

每车信控延误/s	服务水平	每车信控延误/s	服务水平
≤10	A	36~55	D
11~20	B	56~80	E
21~35	C	>80	F

式中: d 为车道组每辆车平均停车延误(s/辆); PF 为车流到达调整系数; d_1 为标准停车延误(s/辆),即假定车道上车辆的到达在时间上是均匀分布时所产生的延误,按式(2)计算; d_2 为累积停车延误(s/辆),表示超过均匀到达的基础上,随机到达车辆的累计延误及因周期失效引起的附加延误,按式(3)计算。

$$d_1 = 0.38(1 - g/C)^2 / (1 - g/CX) \tag{2}$$

$$d_2 = 173X^2 \{ (X - 1) + [(X - 1)^2 + 16X/c]^{0.5} \} \tag{3}$$

式中: g 为有效绿灯时间(s); C 为信号周期长度(s); X 为车道组的饱和度, $X = V/c$; V 为车道组的交通量; c 为车道组的通行能力(pcu/h)。

进口道的通行能力按下式计算:

$$CAP_i = \lambda_i S_i \tag{4}$$

式中: CAP_i 为第 i 条进口道的通行能力(pcu/h); λ_i 为第 i 条进口道的绿信比, $\lambda = g/C$; S_i 为第 i 条进口道的饱和流量。

按上述方法计算,该交叉口的信控延误见表 4。该交叉口的服务水平为 D 级,严重影响了交通者的出行。造成其延误水平过大的主要原因是北进口道信控延误达到 71.91 s,其左转车道的延误较大。后续主要对北进口道进行优化。

表 4 现状交叉口的延误及服务水平

进口道	车道	交通量(pcu·h ⁻¹)		流量比	绿信比 λ	绿灯 时间/ s	通行能力/ (pcu· h ⁻¹)	饱和 度	均匀 延误/ s	信控延误/s		服务 水平
		Q_d	S_d							进口道	交叉口	
西进口	直行	111	1 500	0.07	0.23	27	345	0.32	40.02	39.87		
	右转	60	1 550	0.04								
	左转	54	1 550	0.03								
东进口	直行	59	1 550	0.04	0.23	27	345	0.17	38.57	49.84		
	右转	446	1 550	0.29								
北进口	左转	1 467	1 550	0.95	0.38	45	589	1.65	79.83	47.16		D
	直行	92	1 550	0.06								
	右转	163	1 550	0.10								
南进口	直行	356	1 550	0.23	0.38	45	589	0.60	26.32	27.00		
	右转	204	1 550	0.13								

注: Q_d 为高峰小时交通量; S_d 为设计饱和流量;流量比= Q_d/S_d ;通行能力= $Q_d \lambda$ 。下同。

1.3 交叉口交通状况分析

根据计算和实际观察结果,该交叉口在北进口、西进口和南进口出现车辆排队现象,其中北进口道的最大排队长度为 110 辆/(100 m),饱和度超过 50%。根据美国联邦公路服务等级划分标准,北进口车道的服务水平为 F 级,服务水平低,几乎为停滞状态。

北进口道的通行能力不足,左转车流量所占比例高,且没有专用的左转相位,左转车道较少。由于该交叉口用地紧张,附近为教育和商业用地,无法拓宽交叉口进口道宽度或新建左转车道,采取优化信号配时的方法,从时间上对交叉口的车辆进行分流,改善其交通状况。

1.4 仿真分析

输入交通流量、机动车辆类型、信号灯配时等交通参数,利用 VISSIM 仿真软件对交叉口现状进行模拟仿真(见图 1),驾驶员驾驶行为采用市区机动化(见图 2)。根据 VISSIM 仿真模拟结果,北进口出现较大排队长度,与观测到的实际情况吻合。证明仿真所选取的交通参数准确,后续改善措施可在该路网的基础上进行仿真模拟。



图 1 交叉口现状模拟



图 2 交叉口驾驶行为选择

2 交叉口优化

该交叉口的的问题主要是北进口左转车辆较多,影响了整个交叉口的车辆通行。考虑开辟一条左转专用车道来缓解交通压力,但经过实地勘测,该交叉

口城市用地紧凑,如果增加专用左转车道可能与城市总体规划产生冲突,且后续道路改造会对周围交通出行带来较大影响,施工难度大,资金花费也较大。遂考虑先从时间上进行交通流隔离,对信号周期进行优化,通过 VISSIM 仿真,观察信号周期优化是否能改善其拥堵情况。

2.1 信号周期优化方案

根据交通量确定信号周期长度,通过式(5)将交叉口交通量转换成等效交通流量,再利用式(6)计算信号周期,绿灯时间 $g = T - 2 \times$ 黄灯时间。经过计算,得到表 5 所示信号周期优化方案。

$$V_e = (V + 0.5 \times H + 0.6 \times L) / n \tag{5}$$

式中: V_e 为等效交通量(pcu/h); V 为实际交通量(pcu/h); H 为道路宽度(m); L 为车辆排队长度(m)。

$$T = (13\ 330P) / (1\ 333 - V_e) \tag{6}$$

式中: P 为信号灯的相位数; T 为信号灯的周期时长(s)。

表 5 南昌路与农大东路交叉口信号周期优化方案 s

相位	进口道	红灯时长	黄灯时长	绿灯时长	周期
第一相位	东向西	87	3	10	100
第二相位	西向东	77	3	20	100
	南向北	77	3	20	
第三相位	北向南	51	3	46	100

利用 VISSIM 对信号周期配时优化后的交叉口进行仿真,仅改变信号机的配时方案,其他交通参数不变。仿真结果见图 3。



图 3 交叉口优化后模拟仿真

根据仿真结果,信号配时优化后,北进口车道车辆排队长度得到改善,最大停车长度为 9 辆/(100 m),各进口道的车辆均未产生拥堵。对比表 1 与表 5,优化后,北向南(北进口道)绿信比从 0.38 提高到 0.46,提升 21%,增加了北进口道的通行权,降低了其车辆延误,从而使该交叉口的交通状况得到改善。

2.2 优化后交叉口的服务水平

采用 Webster 法对优化后交叉口进行延误计算,结果见表 6。

由表 6 可知:信号配时优化后,交叉口的服务水

平得到显著提高,从 D 级提升到 C 级。通过对北进口道信号配时进行优化,提高了该进口道的绿信比,降低了该进口道的信控延误,提升了交叉口的服务水平。

表 6 优化后交叉口延误及服务水平

进口道	车道	交通量(pcu · h ⁻¹)		流量比	绿信比 λ	绿灯时间/s	通行能力/(pcu · h ⁻¹)	饱和度	均匀延误/s	信控延误/s		服务水平
		Q _d	S _d							进口道	交叉口	
西进口	直行	111	1 500	0.07	0.20	7	345	0.32	30.62	30		
	右转	60	1 550	0.04								
	左转	54	1 550	0.03								
东进口	直行	59	1 550	0.04	0.10	14	345	0.17	23.19	25.44		
	右转	446	1 550	0.29								
	左转	1 467	1 550	0.95								
北进口	直行	92	1 550	0.06	0.46	32	713	0.79	16.03	32.18		
	右转	163	1 550	0.10								
南进口	直行	119	1 550	0.08	0.10	7	589	0.2	28.93	29.21		
	右转	204	1 550	0.13								

2.3 信号配时优化对交叉口的影响

对优化前后交叉口的各交通参数进行比较,信号配时优化后交叉口北进口道的绿信比从 0.34 提升到 0.46,提升 20%;车辆延误时间明显下降,从 36.74 s 下降到 28.05 s。交叉口平均延误中停驶车辆百分比虽然有较大增长,但总的延误时间和每辆车的平均延误都大幅下降。总体而言,信号配时优化方案可行,使该交叉口的道路服务水平从 D 级提升到 C 级。

3 结语

该文利用 VISSIM 软件和信号配时优化相结合的方法对乌鲁木齐市南昌路与农大东路交叉口进行优化,仿真分析结果表明该方法对信号交叉口的交通有明显的改善效果,能从时间上提高信号交叉口的通行能力,大大降低出行汽车的平均排队长度与平均延误,减少拥堵,提高出行效率。

参考文献:

- [1] 李世武,王云鹏,付建萍,等.基于车辆排放的城市道路交叉口信号配时优化仿真[J].吉林大学学报:工学版,2007,34(6).
- [2] 周志浩,葛欢.基于 VISSIM 仿真的信号交叉口优化方法研究[J].交通标准化,2013(2).

- [3] 杨佩昆,吴兵.交通管理与控制[M].北京:人民交通出版社,2003.
- [4] 王伟,过秀成.交通工程学[M].南京:东南大学出版社,2003.
- [5] 邓文,彭愚.基于信号优化与 VISSIM 仿真的交叉口优化方法研究[J].交通标准化,2007(2/3).
- [6] 周海娟.基于 VISSIM 仿真的城市信号交叉口交通组织优化研究[D].西安:长安大学,2015.
- [7] 王建军,严宝杰.交通调查与分析[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [8] 马小毅,王伟.模拟方法在主路优先交叉口通行能力中的应用[J].东南大学学报:自然科学版,1997,27(5).
- [9] 王伟平.城市平面交叉口交通信号控制优化方法的研究[D].青岛:山东科技大学,2004.
- [10] 顾宝华.城市道路交叉口信号配时设计方法研究[D].西安:西北工业大学,2005.
- [11] 徐彦.城市信号交叉口交通流仿真研究[D].武汉:华中科技大学,2005.
- [12] 安艳召,成卫,陈昱光.基于佳点集协同进化粒子群的信号配时优化[J].公路与汽运,2015(4).
- [13] 胡怡玮,刘艳,刘玉露.武汉小东门十字路口信号最佳配时仿真优化研究[J].公路与汽运,2013(4).
- [14] 王力扬,周钰严.交叉口相位及信号配时优化[J].西安工业大学学报,2012,32(12).