

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2012.08.017

五路环形交叉口瓶颈控制方法

杨晓芳, 王建蓉, 牛兆雨

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要: 针对实行“环道二次控制”五路环形交叉口在交通高峰时期某环道濒临排队回溢至上游环道, 而同一相位的其他环道时空资源有相应浪费的现象, 提出了五路环形交叉口瓶颈控制策略。在采用“搭接相位”的3相位控制基础上, 进行瓶颈环道和瓶颈进口道的判断, 当满足瓶颈环道控制触发条件时, 进行瓶颈环道控制; 当各个环道排队饱和系数均接近最大限值时, 进行进口道瓶颈控制, 同时协调控制瓶颈环道和瓶颈进口道。建立了高峰时期五路环形交叉口的信号配时参数优化模型。以上海市五角场五路环交为例进行了验证。结果表明, 使用该控制方法后交叉口的通行能力增大了28%, 车均延误减小了8.8%, 平均停车次数减少了5.7%。

关键词: 交通工程; 配时优化; 瓶颈控制; 五路环形交叉口; 协调控制

中图分类号: U491.2⁺3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2012)08-0099-07

Control Method of Bottleneck at Five-leg Roundabout

YANG Xiaofang, WANG Jianrong, NIU Zhaoyu

(School of Business, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: To cope with the phenomenon that the queue of a circulatory roadway already stretched to the upstream circulatory roadway while the other circulatory roadway in the same phase is wasting the time and space resources at five-leg roundabout, the control strategy of bottleneck at five-leg roundabout was put forward. Based on the three-phase control with overlapped-phase, the bottleneck circulatory roadway and bottleneck approach were judged at first. When the trigger conditions of bottleneck circulatory roadway are fulfilled, the control method will be used; when the saturation coefficient of queue of each circulatory roadway is close to the maximum value, the control method of bottleneck approach will be used, and coordinated control will be used between bottleneck circulatory roadway and bottleneck approach. The signal timing parameter optimization model for five-leg roundabout in peak hours was established. Taken Shanghai Wujiaochang for example, the verification result shows that the traffic capacity of the roundabout increased by 28%, the average vehicle delay decreased by 8.8% and the average number of parking decreased by 5.7% after using the presented control method.

Key words: traffic engineering; signal timing optimization; bottleneck control; five-leg roundabout; coordinated control

0 引言

五路交叉口是一种复合型的非对称型多路交叉口, 5条道路相交, 流量交换复杂。在信号控制时因

其流向众多, 为避免冲突需设置多个相位而导致交叉口效率不高, 且易致驾驶员识别相位困难, 因此许多城市设置成环形交叉口。高峰时期的流量在接近或超过环岛的通行能力时, 进入环道交织段

收稿日期: 2011-12-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(51008196); 上海市重点学科建设项目(S30501)

作者简介: 杨晓芳(1975-), 女, 山西新绛人, 副教授, 博士。(herryfuyang@126.com)

的车流量较大,且环道排队空间有限,易致环道发生交通拥挤和阻塞,严重时甚至会造成“环死锁”^[1-3]。

五路环形交叉虽然比例较小,但由于组织困难,易成为整个路网的瓶颈,因此,对五路环岛交通控制研究已成为研究热点,很多学者从不同角度展开了研究。杨锦东等人在对环形交叉口的交通特征及其交通问题进行深入研究的基础上,针对不同的环岛规模、不同的交叉口空间,给出了不同的控制模式^[4];杨晓光等人提出了四路环形交叉口的“左转二次控制”理论和方法,并且为环形交叉口信号控制最佳周期提供了一种有效的新算法,在研究的新控制方法中考虑了环岛环道的有限排队空间^[5-8];高云峰等人研究了五路环形交叉口的进口道与环道之间的协调信号控制,提出了环道容量约束,在优化模型中考虑了排队约束^[9]。上述研究中大多数对于排队空间的考虑多限于采用排队约束,而实际上同一相位放行各流向进入环道的流量和2个环道的排队容量都不一定相同,相位绿灯时间须满足排队容量更小的环道。在高峰时,排队约束可能导致某一环道濒临排队回溢至上游环道,而同一相位的其他环道时空资源有相应的浪费,因此,需要在排队容量约束的基础上,针对进口道流量不均衡和环道排队容量不同的特点,对左转二次控制理论进行进一步研究,以提高适用性和实用价值。基于此,本文提出基于高峰时期瓶颈控制方法,实时优化五路环形交叉口的信号控制,以减少环道和进口道的时空资源的浪费。

实行环道二次控制的环形交叉口拥堵,可以分为环道拥堵和进口道拥堵。环道拥堵一般是从环道的某个瓶颈点开始的,当瓶颈处的累积滞留车辆不断增多,最终回溢至上游环道停车线处时,将影响上游环道交通流的正常运行,进而产生紊流,易致环道拥堵。而在高峰时期,为了保证环道的畅通运行,进口道车流在进口道停车线处的等待时间会相应增加,如果某进口道车流量较大,该交叉口就很容易达到饱和,成为环形交叉口的进口道瓶颈,最终会导致该进口道排队上溯到上游交叉口,甚至产生交通死锁现象,严重时甚至导致大范围的路网阻塞,引发排队扩散的“多米诺”效应,也会导致路网交通锁死现象^[10]。

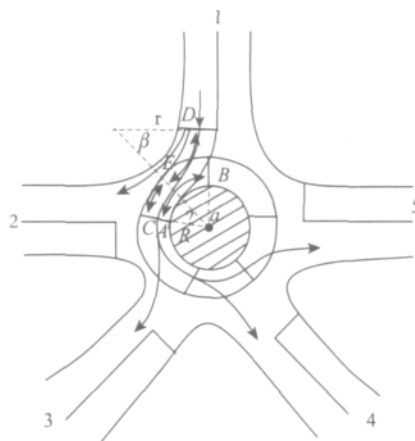
1 信号相位相序的基本设置

相位相序是单点自适应控制优化过程中的重要

控制参数之一,在周期和绿信比之间搭建了一座桥梁,同时又与这2个参数相互耦合。

在五路环形交叉口中,出环交通流与入环交通流在环道内的冲突与交织相当严重。由于交叉口进口道数量多,环道压力增大,高峰时期环道内更容易造成拥堵^[1]。为减少损失时间,提高五环交叉口的运行效率,在保证安全的前提下应尽可能减少相位数量^[12-13]。同时,灵活运用相位搭接的方式,进行瓶颈环道或进口道的控制以及2者之间的协调控制。因此本文采用有搭接的3相位信号控制。

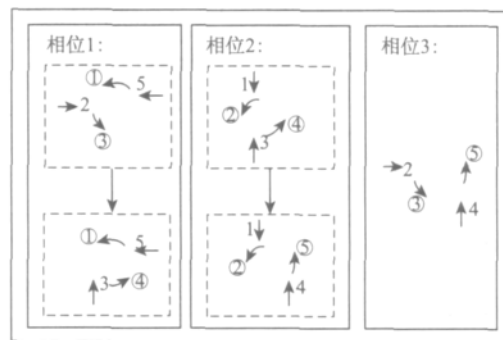
从环道控制出发,各个相位放行非相邻的环道车流与其下游环道对应的进口道车流。由于是五路环形交叉口,各进口道均存在2个非相邻进口道,各环道停车线均存在2个非相邻环道停车线,可运用合理相位搭接,充分利用交叉口的时间资源。环形交叉口的示意图和相位相序图分别如图1、图2所示。



注:1、2、3、4、5表示进口道车流。

图1 五路环形交叉口示意图

Fig. 1 Schematic diagram of five-leg roundabout



注:1、2、3、4、5表示进口道车流;①、②、③、④、⑤表示环道车流。

图2 相位相序图

Fig. 2 Phase sequence

2 环形交叉口瓶颈控制方法

五路环形交叉口相邻进口道的夹角大小存在差异, 因此各个环道的排队空间存在差异, 同时进入各环道的流量大小不同, 导致各个环道排队饱和系数不同。在高峰时段, 可能会出现同一相位的 2 个环道中 1 个环道空间浪费, 而另 1 个环道出现排队溢出现象。基于此, 本文提出五路环形交叉口的瓶颈控制方法。

2.1 瓶颈控制方法流程

在上述相位设置的基础上, 本文所提出的瓶颈控制方法适用于满足以下基本条件的五路环形交叉口:

- (1) 设置环道停车线且进行环道二次控制;
- (2) 进口道交通流量或环道排队空间不均衡;
- (3) 信号控制周期满足区域协调控制周期;
- (4) 交叉口平均饱和度 $\bar{x} \leq 0.95$ 。

针对满足以上条件的交叉口, 对同一绿灯时间内的环道, 进行环道瓶颈判断, 在满足环道瓶颈触发条件时进行环道瓶颈控制; 进而进行进口道瓶颈判断, 在满足进口道瓶颈触发条件时进行进口道瓶颈控制。该瓶颈控制方法的流程如图 3 所示。

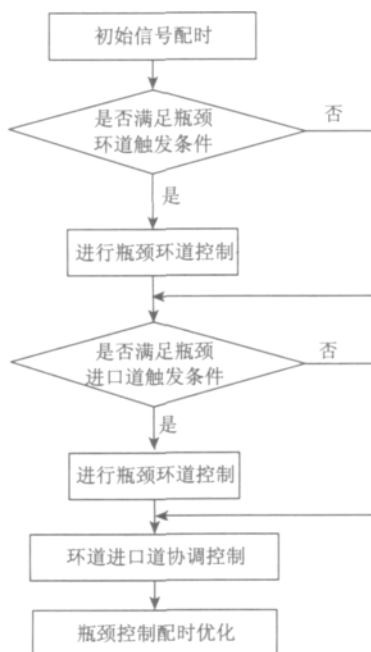


图 3 瓶颈控制方法流程

Fig. 3 Flow chart of bottle control method

2.2 环形交叉口瓶颈判断

环岛瓶颈控制方法需先定义瓶颈环道、瓶颈进口道、环道排队饱和系数, 进而进行瓶颈判断。

2.2.1 定义

(1) 瓶颈环道: 若某个环道停车线的排队车辆经常延伸至上游环道停车线, 则称此环道停车线与上游环道停车线之间的环道为瓶颈环道。

(2) 瓶颈进口道: 在满足一定服务水平条件下, 当某进口道最先达到该进口道的最大允许饱和度时, 认为该进口道为环形交叉口的瓶颈进口道。

(3) 环道排队饱和系数: 指环道上某停车线的排队车辆数与该环道停车线及其上游环道停车线之间可容纳车辆数之比。设相位 i 下环道 j 的排队饱和系数为 α_{ij} , 则

$$\alpha_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_{ijr}}, \quad (1)$$

式中, L_{ij} 为相位 i 下环道 j 的实际排队长度; L_{ijr} 为相位 i 下环道 j 的允许排队长度。

2.2.2 瓶颈判断

(1) 瓶颈环道判断

当环道 j 最先满足 $\alpha_{ij} > \alpha_{\max}$ 时, 相位 i 下环道 j 为该环形交叉口的瓶颈环道。即瓶颈环道控制的触发条件为:

$$\alpha_{ij} > \alpha_{\max}, \quad (2)$$

式中 j 表示环道。

$\alpha_{\max}$ 的标定原理如下: 根据交通波理论, 当相位红灯结束绿灯启亮后, 由于在绿灯启亮前已存在排队车辆, 会形成一列启动波并向上游传播, 同时后续到达车辆会在队尾形成一列停车波向后传播。只有当启动波追赶上停车波后排队车辆才完全消散, 启动波追赶上停车波的位置即为排队最远点, 排队最远点至停车线的距离要大于红灯期间车辆的排队长度。为防止排队上溯现象发生, 必须保证排队最远点不超过瓶颈路段长度。确定排队最远点的位置, 需要知道启动波到达排队最远点的时间, 即排队的消散时间。

在高峰时期, 选用适合于交通流密度较大状态的 Greenberg 模型来计算交通波。Greenberg 模型的表达式为:

$$u = u_m \ln\left(\frac{k_j}{k_i}\right), \quad (3)$$

式中, u_m 为流量最大时对应的车速, 称为最佳车速; k_j 为阻塞密度; k_i ($i=1, 2$) 为交通流 i 的密度。

则交通波波速为:

$$u_w = \frac{k_2 u_m \ln\left(\frac{k_j}{k_2}\right) - k_1 u_m \ln\left(\frac{k_j}{k_1}\right)}{k_2 - k_1}. \quad (4)$$

对于启动波, $k_2 = k_j$, 环道绿灯起亮时刻排队车辆的启动波波速为:

$$u_q = -\frac{k_1 u_m \ln\left(\frac{k_j}{k_1}\right)}{k_j - k_1} \quad (5)$$

对于停车波, $k_1 = k_j$, 则环道绿灯启亮时刻排队队尾的停车波波速为:

$$u_t = -\frac{k_2 u_m \ln\left(\frac{k_j}{k_2}\right)}{k_j - k_2} \quad (6)$$

设排队的消散时间为 t , 则可以得到:

$$u_q t = L_{ij\tau} + u_t t, \quad (7)$$

即:
$$t = \frac{L_{ij\tau}}{u_q - u_t} = \frac{L_{ij\tau}}{u_q(1 - \eta)}, \quad (8)$$

式中, η 为停车波波速 u_t 与启动波波速 u_q 的比值, 可以表示为:

$$\eta = \frac{k_2}{k_1} \cdot \frac{k_j - k_1}{k_j - k_2} \cdot \frac{\ln\left(\frac{k_j}{k_2}\right)}{\ln\left(\frac{k_j}{k_1}\right)}, \quad (9)$$

则排队最远点到停车线的距离 L_{ijy} 为:

$$L_{ijy} = u_q t = \frac{L_{ij\tau}}{1 - \eta} \leq L_j \quad (10)$$

为防止排队车辆上溯, 排队最远点至停车线的距离必须不大于瓶颈路段长度 L_j , 所以有:

$$L_{ijy} = \frac{L_{ij\tau}}{1 - \eta} \leq L_j \quad (11)$$

$L_{ij\tau}$ 的极限值为 $\alpha_{\max} L_j$, 则

$$\frac{\alpha_{\max} L_j}{1 - \eta} = L_j, \quad (12)$$

得到:

$$\alpha_{\max} = 1 - \eta \quad (13)$$

(2) 瓶颈进口道判断

在高峰时段, 对于环形交叉口进口道而言, 若某个进口道达到饱和, 就会导致该进口道的排队蔓延到上游交叉口, 严重时导致路网死锁。为保持环岛畅通, 控制进口道流量可能导致该进口道达到饱和或过饱和, 形成瓶颈进口道。

一般饱和度的实用限值定在 0.8 ~ 0.95 之间, 五路环形交叉口各个进口道的道路等级不同。根据各进口道的不同重要程度, 将各进口道的瓶颈饱和度限值也标定不同的值。

设相位 i 下进口道 j 的饱和度为 x_{ij} , 相位 i 下进口道 j 的瓶颈饱和度限值为 $x_{ij\max}$ 。当 $x_{ij} > x_{ij\max}$ 时, 就认为相位 i 下进口道 j 为该环形交叉口的瓶颈进口

道。即瓶颈进口道控制的触发条件为:

$$x_{ij} > x_{ij\max}, \quad (14)$$

式中 j 表示进口道。

2.3 环形交叉口瓶颈控制方法

在高峰时期, 瓶颈控制方法可均衡交通压力, 防止排队溢出。当交叉口满足瓶颈触发条件时, 采用瓶颈控制方法。先进行瓶颈环道控制, 保持环道车流畅通运行; 当各个环道饱和系数均接近最大值, 均衡环道压力法已无法适用时, 进行进口道瓶颈控制, 保证交叉口的运行效率, 防止进口道排队上溯到上游交叉口; 同时, 须协调控制瓶颈环道和瓶颈进口道, 充分利用交叉口时空资源, 避免拥堵。

2.3.1 瓶颈环道控制

首先均衡各个环道的交通压力。当各个环道的饱和系数均接近最大值时, 再通过控制进口道的入环流量来控制瓶颈环道。

(1) 均衡环道压力法

均衡环道压力法是一种通过增大瓶颈环道的供给能力来控制瓶颈环道的方法, 将瓶颈环道的部分交通压力转移到环道排队饱和系数较小的环道, 利用非瓶颈环道来分担交通压力, 用“等环道排队饱和系数”的思想来优化信号配时, 并优化分配环道时空资源, 避免环道拥堵。瓶颈环道的绿灯时间为:

$$g'_{ijp} = \min[g_{ij}, g_{imax}], \quad (15)$$

$$g_{ij} = \frac{\alpha_{\max} \cdot L_j}{(1 - \eta) \cdot u_q}, \quad (16)$$

式中, g'_{ijp} 为瓶颈控制时高峰瓶颈环道的绿灯时间; g_{ij} 为瓶颈环道排队饱和系数为 $\alpha_{\max}$ 时对应的绿灯时间; g_{imax} 为相位 i 的最大绿灯时间; g_{ijp} 为瓶颈环道原有控制的绿灯时间。

$$\text{令 } n' = g'_{ijp} - g_{ijp}, \quad (17)$$

则环道排队饱和系数较低的非瓶颈环道停车线的绿灯时间为:

$$g'_{ij\tau} = \max[g_{ij\tau} - n', g_{ij}, g_{imin}], \quad (18)$$

式中, $g'_{ij\tau}$ 为瓶颈控制时高峰非瓶颈环道的绿灯时间; $g_{ij\tau}$ 为非瓶颈环道原有控制的绿灯时间; g_{ij} 为非瓶颈环道排队饱和系数为 $\alpha_{\max}$ 时对应的绿灯时间; g_{imin} 为相位 i 的最小绿灯时间。

(2) 控制进口道入环流量法

控制进口道流量法是一种通过减小瓶颈环道的需求来控制瓶颈环道的方法, 即通过控制流入瓶颈环道的进口道流量来减小瓶颈进口道的需求压力, 进而避免环道拥堵。当各个环道的饱和系数均接近最大值时, 均衡环道压力法已无法适用。此时可

以控制进入该环道的进口道流量, 从环道需求上来控制瓶颈环道。

设瓶颈环道为 j' , 则该环道下游的环道可以依次表示为环道 $j'+1, j'+2, \dots$ 。该环道上游的环道可以依次表示为环道 $j'-1, j'-2, \dots$ 。分析环道交通流, 在环道 j 停车的进口道车流为进口道 $j-2$ 和进口道 $j-3$, 所以为了避免瓶颈环道 j 拥堵, 可以控制进口道 $j-2$ 和进口道 $j-3$ 进入环道的车流量。

进口道 $j-2$ 的绿灯时间为:

$$g_{j-2} = \max [g_{j-2} - n', g_{\min}], \quad (19)$$

式中, g_{j-2} 为进口道 $j-2$ 的绿灯时间; $g_{\min}$ 为放行进口道 $j-2$ 时的相位最小绿灯时间。

同理, 进口道 $j-3$ 的绿灯时间为:

$$g_{j-3} = \max [g_{j-3} - n', g_{\min}]. \quad (20)$$

2.3.2 瓶颈进口道控制

通过控制进口道流量来控制瓶颈环道, 会导致进口道饱和度增大, 形成瓶颈进口道, 所以还需要对瓶颈进口道进行控制, 以保证整个交叉口的运行效率。

相位 i 下进口道 j 的饱和度为该信号相位的实际流量与通行能力的比值, 即:

$$x_{ij} = \frac{V_{ij}}{C_{ij}} = V_{ij} / \left(S_{ij} \cdot \frac{g_{ij}}{c} \right) = V_{ij} / \left[S_{ij} \cdot \left(1 - \frac{L}{c} \right) \right], \quad (21)$$

式中, x_{ij} 为相位 i 下进口道 j 的饱和度; V_{ij} 为相位 i 下进口道 j 的实际流量; C_{ij} 为相位 i 下进口道 j 的通行能力; S_{ij} 为相位 i 下进口道 j 的饱和流率; g_{ij} 为相位 i 下进口道 j 的绿灯时间; c 为相位 i 下进口道 j 的周期时长; L 为每周期的总损失时间。

对瓶颈进口道的控制是为了降低进口道瓶颈的饱和度, 使其在最大允许范围内。分析饱和度的计算公式可知, 在交叉口几何条件、渠化方式等不变的条件下, 为了降低瓶颈进口道的饱和度, 只能增大信号周期或增大相位绿灯时间。而在高峰时期采用瓶颈控制方法时已经采用较大周期, 且过大的信号周期并不能明显增大通行能力, 所以只能增大相位绿灯时间。在瓶颈环道控制的基础上, 用“等饱和度”的思想来优化进口道的绿灯时间。

瓶颈进口道的绿灯时间为:

$$g'_{ijp} = \min [g'_{ij}, g_{imax}], \quad (22)$$

$$g'_{ij} = \frac{V_{ijmax} \cdot c}{s_{ij} \cdot x_{ijmax}}, \quad (23)$$

式中, g'_{ijp} 为瓶颈控制时高峰瓶颈进口道的绿灯时间; g_{ij} 为瓶颈进口道车流量最大时瓶颈饱和度对应的绿灯时间; g_{imax} 为相位 i 的最大绿灯时间; g_{ijp} 为瓶

颈进口道原有控制的绿灯时间。

$$n = g'_{ijp} - g_{ijp}, \quad (24)$$

则饱和度较低的非瓶颈进口道的绿灯时间为:

$$g'_{ijt} = \max [g_{ijt} - n, g_{ij}, g_{imin}], \quad (25)$$

式中, g'_{ijt} 为瓶颈控制时高峰非瓶颈进口道的绿灯时间; g_{ijt} 为非瓶颈进口道原有控制的绿灯时间; g_{ij} 为非瓶颈进口道车流量最大时瓶颈饱和度对应的绿灯时间; g_{imin} 为相位 i 的最大绿灯时间。

2.3.3 环道和进口道的协调控制

五路环形交叉口的进口道较多, 交通流向较多, 可采取进口道或环道绿灯的迟后、早断或早后、迟断措施, 通过环道信号之间、进口道信号之间以及环道信号和进口道信号之间的协调使进入环道的车流能尽快出环, 尽量少停车, 最大程度地让车流连续通过交叉口。

为保证进口道绿灯结束时通过停车线的车辆能顺利通过前进方向的紧邻环道停车线, 五叉环形交叉口的信号控制需要协调进口道信号灯与车流前进方向的紧邻环道信号灯。如图 1 所示, 环道 2 比进口道 1 迟断的时间为:

$$\Delta t = \frac{L_{CE} + L_{ED} - l}{v} - \frac{l}{v_q}, \quad (26)$$

式中, L_{CE} 、 L_{ED} 分别为轨迹线 CE 、 ED 的长度; v 为车辆在轨迹线上的平均行驶速度; l 为环道停车线前的排队长度; v_q 为排队车流的消散波速。

在高峰时段, 五路环形交叉口的协调控制还需要协调瓶颈环道控制和瓶颈进口道控制。本文的相位相序设计存在相位搭接, 这更易于进行二者协调, 有效地利用交叉口的时空资源, 提高交叉口的通行能力, 保证交叉口的运行效率, 避免高峰时间交通拥堵。设排队饱和系数较低的环道或饱和度较低的进口道的迟后或早断时间为 Δt , 则

$$\Delta t = |g'_{ijp} - g_{ij}|. \quad (27)$$

由于该瓶颈控制的相位相序设计存在相位搭接, 相位绿灯时间的确定如下:

$$g_i = \max \{g'_{ijp}, g_{ij}\}. \quad (28)$$

3 瓶颈控制配时优化模型

瓶颈控制是一种城市交通拥挤控制策略, 在设计交通信号控制策略时, 应根据实际交通条件和路网状态来设定合理的控制目标。在交叉口饱和度较高的高峰时期, 一般以尽快疏散拥堵交通流为目标, 因此信号配时追求增大交叉口的通行能力。同时, 由于环道二次控制中存在环道控制与进口道控制的

协调,所以五路环形交叉口的信号配时还需要考虑降低交叉口延误和停车次数。本文将针对饱和度较高的五路环形交叉口高峰时期,以交叉口通行能力、车均延误和平均停车次数为目标,建立瓶颈控制的配时优化模型。

$$\max Z = \max(k_C C - k_D D - k_H H), \quad (29)$$

s. t. 绿灯时间约束:

$$g_{imin} \leq g_i \leq g_{imax}, \quad (30)$$

车辆平均延误约束:

$$d_i \leq d_{imax}, \quad (31)$$

有效红灯时间约束:

$$r_i \leq r_{imax} \quad (32)$$

相位饱和度约束:

$$x_i \leq x_{imax}, \quad (33)$$

式中, d_i 为相位 i 车辆的平均延误; h_i 为相位 i 的平均停车次数; C 为交叉口的通行能力; D 为 1 个周期内交叉口的车均延误时间; H 为 1 个周期内交叉口的车辆平均停车次数; k_C 、 k_D 、 k_H 分别为 C 、 D 、 H 对应的权重系数; c 为信号周期时长; λ_i 为相位 i 的绿信比; y_i 为车流的流量比; g_i 为相位 i 的有效绿灯时间; q_i 为相位 i 下进口道的车流量; s_i 为相位 i 的饱和流量; g_{imin} 为相位 i 的最小相位绿灯时间; g_{imax} 为相位 i 的最大相位绿灯时间; d_{imax} 为相位 i 满足一定服务水平所允许的最大延误; r_i 为相位 i 的有效红灯时间; r_{imax} 为相位 i 行人自行车所能容忍的最大等待时间; x_i 为相位 i 的饱和度。

4 实例

以上海市五角场环形交叉口为例,运用本文提出的瓶颈控制方法确定信号配时参数。翔殷路、邯郸路、淞沪路、黄兴路、四平路均为城市主干道。交叉口的几何布局如图 4 所示。

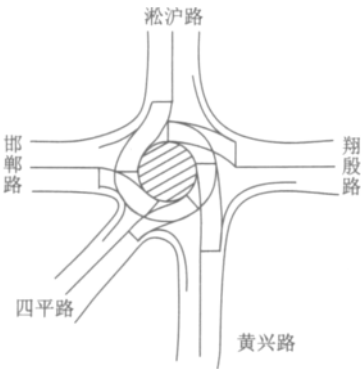


图 4 五角场五路环形交叉口

Fig. 4 Five-leg roundabout at Wujiaochang

经过交通调查,该五路环形交叉口的高峰小时交通量见表 1。

表 1 交叉口交通流量

Tab. 1 Traffic volumes of roundabouts

流量/ (pcu · h ⁻¹)	淞沪路 出口	邯郸路 出口	四平路 出口	黄兴路 出口	翔殷路 出口	总计
淞沪路进口	—	518	442	164	536	1/660
邯郸路进口	458	—	312	303	587	1/740
四平路进口	374	290	—	98	367	1/129
黄兴路进口	190	232	222	—	494	1/158
翔殷路进口	550	514	402	320	—	1/786

4. 1 现状信号配时方案

根据调查,该五路环交叉口的现状信号配时方案见表 2。

表 2 现状信号配时

Tab. 2 Primary signal timing

	淞沪路/s	邯郸路/s	四平路/s	黄兴路/s	翔殷路/s	周期/s
环道灯	56	52	51	56	52	85
进口道灯	22	26	26	22	26	85

现状信号配时方案的 VISSIM 仿真表明,车流在环道内运行畅通,但进口道处车辆排队较长,停车延误较大。结果显示,交叉口的通行能力为 8 565 veh/h,车辆平均延误为 34 s,平均停车次数为 0.93。

4. 2 高峰时瓶颈控制优化方案

运用本文的瓶颈控制方法对信号参数进行优化,计算得出本周期方案的周期时长为 95 s,各进口道和环道的信号配时见表 3。

表 3 改善后信号配时

Tab. 3 Signal timing after improvement

交通流	绿灯起始时间/s	绿灯持续时间/s	绿灯结束时间/s
进口道 1	44	33	77
进口道 2	80	41	26
进口道 3	29	31	60
进口道 4	63	32	95
进口道 5	0	41	41
环道 1	0	41	41
环道 2	41	36	77
环道 3	77	44	26
环道 4	26	34	60
环道 5	60	35	95

改善后信号配时方案的 VISSIM 仿真表明,在高峰时期,该控制方案充分利用了交叉口的时空资源,

使车流在环道内运行通畅,且满足了进口道车流的饱和度约束。结果显示,交叉口的通行能力为10 988 veh/h,车辆平均延误为30 s,平均停车次数为0.88。

结果表明,在改善后的方案中,交叉口的通行能力增大了28%,车均延误减小了8.8%,平均停车次数减少了5.7%。瓶颈控制方案可充分利用交叉口的时空资源,较好地避免了高峰拥堵现象,增大了交叉口的通行能力,减小了交叉口车均延误,同时减少了车辆平均停车次数。

5 结论

本文对高峰时期五路环形交叉口的瓶颈控制方法进行了研究,并且在瓶颈环道控制和瓶颈进口道控制的基础上建立了信号控制参数优化模型。最后通过实例分析和计算,验证了本文提出的信号控制方案能通过优化交叉口自身资源有效地避免高峰时期五路环形交叉口的拥堵。该瓶颈控制方法能较好地通过优化环形交叉口本身的交通资源配置来防止排队回溢,但未考虑通过路网控制改变交叉口的交通需求来防止排队回溢,该情形有待于进一步研究。

参考文献:

References:

- [1] AL-MADANI H M N. Dynamic Vehicular Delay Comparison between a Police-controlled Roundabout and a Traffic Signal [J]. Transportation Research Part A, 2003, 37 (8): 681-688.
- [2] WANG Ruili, RUSKIN H J. Modelling Traffic Flow at Multi-lane Urban Roundabouts [J]. International Journal of Modern Physics C, 2006, 17 (5): 693-710.
- [3] 郭瑞军,王晚香. 环形交叉口储备通行能力计算 [J]. 大连交通大学学报, 2010, 31 (6): 25-28.
GUO Ruijun, WANG Wanxiang. Study of Reserve Capacity of Roundabouts [J]. Journal of Dalian Jiaotong University, 2010, 31 (6): 25-28.
- [4] 杨锦东,杨晓光,彭国雄. 环形交叉口交通控制模式研究 [J]. 公路交通科技, 2000, 17 (3): 47-51.
YANG Jindong, YANG Xiaoguang, PENG Guoxiong. Mode of Traffic Control in Ring-intersection [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2000, 17 (3): 47-51.
- [5] 杨晓光,赵靖,汪涛. 环形交叉口信号控制最佳周期计算方法 [J]. 中国公路学报, 2008, 21 (6): 90-95.
YANG Xiaoguang, Zhao Jing, WANG Tao. Optimal Cycle Calculation Method of Signal Control at Roundabout [J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21 (6): 90-95.
- [6] 马莹莹,杨晓光,曾滢. 十字环形交叉口绿灯间隔时间计算方法研究 [J]. 公路交通科技, 2007, 24 (7): 95-98.
MA Yingying, YANG Xiaoguang, ZENG Ying. Calculating Method of Intergreen Interval for Roundabout [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007, 24 (7): 95-98.
- [7] 薛昆,杨晓光,白玉. 给定周期条件下环形交叉口优化控制方法研究 [J]. 公路交通科技, 2004, 21 (5): 83-87.
XUE Kun, YANG Xiaoguang, BAI Yu. Optimization of Control Method for Roundabout at Fixed Cycle [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21 (5): 83-87.
- [8] YANG Xiaoguang, LI Xiugang, XUE Kun. A New Traffic-signal Control for Modern Roundabouts: Method and Application [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2004, 5 (4): 282-287.
- [9] 高云峰,杨晓光,伍速锋,等. 五叉环形交叉口信号协调控制模型 [J]. 系统工程, 2006, 24 (8): 27-31.
GAO Yunfeng, YANG Xiaoguang, WU Sufeng, et al. The Model for the Coordinated Control on Five-leg Roundabouts Based on the Constraint of the Circulating Lane Capacity [J]. Systems Engineering, 2006, 24 (8): 27-31.
- [10] KROGSCHEEPERS J C, ROEBUCK C S. Unbalanced Traffic Volumes at Roundabouts [C] // Proceedings of the Fourth International Symposium on Highway Capacity. Washington, D. C.: TRB, 2000: 446-458.
- [11] PERSAUD B N, RETTING R A, GARDER P E, et al. Safety Effect of Roundabout Conversions in the United States [J]. Transportation Research Record, 2007, 1751: 1-8.
- [12] AKCELIK R. Capacity and Performance Analysis of Roundabout Metering Signals [C] // TRB National Roundabout Conference. Vail, Colorado: TRB, 2005: 22-25.
- [13] 张小宁,邓静媛. 交叉口单口放行方法相位设计设置研究 [J]. 公路交通科技, 2010, 27 (8): 87-95.
ZHANG Xiaoning, DENG Jingyuan. Study on Setting of Signal Phase of Intersection in Method of Each Phase for an Entrance [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2010, 27 (8): 87-95.