

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2015.07.019

交叉口直行待行区设置研究

李颖宏, 郑增强, 郭伟伟, 张星愿

(北方工业大学 城市道路交通智能控制技术北京市重点实验室, 北京 100144)

摘要: 在交叉路口极其复杂的交通流运行状态的情形下, 结合待行区设置的基本条件, 深入研究有无直行待行区通行能力模型和延误模型的异同。分析了设置直行待行区前后绿灯间隔时间和有效绿灯时间等信号控制参数变化的情况, 并精确运用数学公式推导出通行能力的增加值以及延误时间的减少值。最后结合实例交叉口, 并通过仿真进行交通运行效率分析, 结果表明: 一般在流量比或饱和度比较大的情况下设置直行待行区, 充分利用路口的空间闲置区域部分, 提高直行车道的利用率, 最大限度达到时间和空间的相互转换的目的, 从而不仅提高直行车道的通行能力, 降低车均延误时间, 而且还在一定程度上提高交叉口的通行能力, 减少了整个路口的延误, 验证了模型的正确性和适用性。

关键词: 交通工程; 理论模型; HCM2000 延误法; 待行区; 通行能力; 延误

中图分类号: U491

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2015) 07-0120-07

Research on Setting of Waiting Area for Through Vehicles at Intersection

LI Ying-hong, ZHENG Zeng-qiang, GUO Wei-wei, ZHANG Xing-yuan

(Beijing Key Laboratory of Intelligent Control Technology of Urban Road Traffic, North China University of China, Beijing 100144, China)

Abstract: In the state of intersection with very complicated traffic flow running, combining with the basic condition of setting waiting area, the differences of capacity models and delay models with and without waiting area for through vehicles are investigated, the changes of signal control parameters such as green light interval time and effective green light time before and after setting waiting area for through vehicles are analysed, and the addition of capacity and the reduction of delay are derived accurately by mathematical formula. Finally, combining with the example of intersection, the traffic operation efficiency is analyzed through simulation. The result shows that (1) generally, under the condition of high volume ratio and saturation, setting waiting area for through vehicles can utilize the spare space of intersection adequately, improve the use efficiency of straight lanes, and realize reciprocal transformation of time and space maximally, not only improve the capacity of straight lanes and decrease delay per vehicle, but also improve the capacity of intersection to some extend, decrease delay of the whole intersection, which verified the validity and applicability of the model.

Key words: traffic engineering; theoretical model; HCM2000 delay method; waiting area; capacity; delay

0 引言

城市道路信号交叉口是城市道路的重要节点,

在有限的空间里, 不同方向的交通流在此汇集, 使交叉口的交通组织错综复杂, 是影响道路通行效率的重要环节^[1-2]。而待行区的设置是缓解交叉口拥

收稿日期: 2015-04-27

基金项目: 科研基地建设-首都世界城市顺畅交通协同创新中心-参与单位 (PXM2014_014212_000020); 学科建设-国家特殊需求-城市道路交通智能控制人才培养项目 (PXM2013_014212_000031); 研究生培养-研究生教育-产学研联合培养研究生基地 (PXM2014_014212_000032)

作者简介: 李颖宏 (1968-), 女, 北京人, 教授. (lyh427@ncut.edu.cn)

堵的有力措施之一,基于待行区的诸多研究,如尚德申主要研究待行区设置方法和以及设置最佳的待行区长度,通过实例表明,合理设置直行待行区可以提高进口车道的利用率,减少延误^[3];左天福分析直行待行区的适用条件和设置方法,并依据典型路口仿真论证,合理设置待行区可以缩短周期时长,减少延误,提高车道的资源利用率^[4];李小帅研究待行区的设计条件和通行能力计算方法,并通过实例验证,设置左转和直行待行区后,提高通行能力,降低延误,优化效果显著^[5]。但是学者们的研究尚未深入探究待行区设置前后信号控制参数的变化,以及通行能力和延误模型的异同。本文建立设有待行区的直行车道通行能力和延误模型,结合交叉口几何尺寸,详细分析信号控制参数的变化,最后通过实例验证模型的正确性,表明在一定条件下待行区能提高直行车道的通行能力,降低车均延误,但并不是所有的情况下都适合设置待行区。

1 直行待行区设置

直行待行区是指交叉口进口道的某一条或几条直行车道前划出一块空间区域,并标有平行的白色虚线边框。这种设计允许直行车辆在上一相位绿灯放行时进入待行区,当直行相位绿灯结束后,不允许直行车辆进入待行区。待行区可以通过延伸直行车道的长度,使停止线深入到交叉口中央,充分利用交叉口内部的空间资源。当直行车辆在直行相位的红灯期间提前进入待行区进行等待,达到了最大限度地利用时间换取空间;当直行相位的信号灯变为绿灯时,在待行区的车辆开始启动通过交叉口,此时又最大限度地利用空间换取时间,最终达到时间和空间相互转换的目的^[6],直行待行区示意图如图1所示。

冲突相位的车辆行驶轨迹是直行待行区长度设置的基础,其中容纳的机动车数量是待行区是否设置的依据。待行区停止线可以在同一直线上,也可以根据交叉口的实际情况设成阶梯状,但不能影响其他方向的车辆通行。

待行区的设置分为2类:一类是主干道和主干道交叉口情况,冲突相位方向的绿灯时间相差不大,根据路口的几何条件设置待行区,充分利用交叉口的空间区域,提高车道的通行能力;另一类在主干道和次干道且主次干道绿灯时长相差较大,优先在次干道设置待行区,原因是当交叉口是主次干道相交时,次干道方向的路口空间区域较大,把待行区

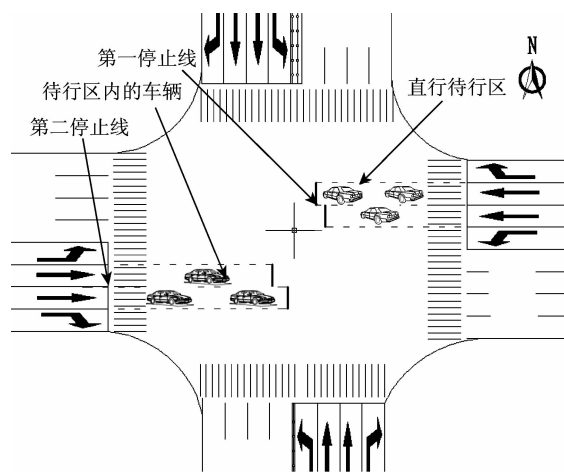


图1 直行待行区示意图

Fig. 1 Schematic diagram of waiting area for through vehicles 设置在次干道可以充分利用路口中央的空间区域,达到充分利用路口的空间区域和有限的绿灯时间的目的,提高车道的通行能力,减少延误。待行区的设置应具备以下几个条件^[7-8]:

- (1) 路交叉口是主干道与主干道或主次干道,以保证有足够的车道数和直行待转区长度;
- (2) 设置直行待行区的进口必须有专用的左转车道;
- (3) 进口道直行车辆多,且相邻交叉口具有相应的消散能力,防止拖尾与待行形成道路阻塞。

2 通行能力和延误模型建立

道路交叉口整体交通状态通过评价指标来体现,如交叉口的通行能力、延误、排队长度、停车次数等等,而交叉口最重要的目的是最大限度地提高通行能力,减少延误,故本文主要通过建立有待行区的直行车道的通行能力和延误模型,达到在有限的空间区域内,最大限度提高交叉口的通行能力和较少延误时间的目的。假设以下条件^[9-10]:

- (1) 直行车辆以均匀的随机到达率到达交叉口,直行车辆的到达率不影响其消散率;
- (2) 设置直行待行区的进口道上游有足够的消散能力,不能与待行区进口道形成阻塞;

2.1 通行能力模型

图2是信号控制交叉口在有无待行区情况下直行车辆的到达和消散的说明图。曲线的斜率分别代表2种状态下直行车辆的到达率和消散率。 Y_L , R , G 分别代表无直行待行区时黄灯、红灯和绿灯时长, Y'_L , R' , G' 分别代表有直行待行区时黄灯、红灯和绿灯时长,黑色区域代表单个周期内第二停止线之

后累计的排队车辆数, $q(t)$ 代表 t 时刻的排队长度。图2(a)显示无待行区时直行车辆在直行灯变黄后如果车头还没越过停止线的车辆就开始排队, 一直延续到在本相位绿灯亮。由图2(a)可知, 每周期的直行绿灯开启时刻 (T_1 时刻) 达到最大值 $q_{\max}$, 此后排队车辆开始消散, 直到消散完毕为止。如图2(b)所示, 有待行区时在上一相位放行时, 排在第二停止线后面的前 N 辆直行车进入待行区等待, 第二停止线后面的排队长度在每周期的直行相位绿灯开启时 (T_1 时刻) 达到最大值 $q'_{\max}$, 故有待行区时整个排队车辆数等于停留在待行区的车辆数与停留在第二停止线后面的车辆数的总和。本文运用停止线法分析有无待行区通行能力的变化, 首先考虑设置待行区前后信号控制参数的变化。

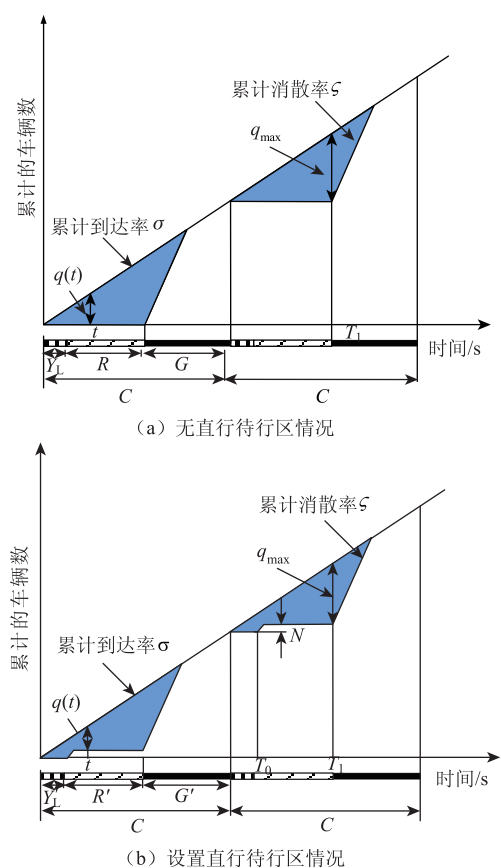


图2 直行待行区前后对比分析图

Fig. 2 Difference between an intersection with and without waiting area for through vehicles

2.1.1 绿灯间隔时间

绿灯间隔时间是指一股交通流的绿灯结束时刻和下一股交通流的绿灯开始时刻的时间间隔, 所需的最短绿灯间隔时间 t_z 由通过时间 t_p 、清空时间 t_r 与进入时间 t_e 确定。进入时间分为2个阶段, 加

速阶段和匀速阶段, 机动车从停止线启动进入交叉口达到一定的速度后, 近似认为机动车匀速通过交叉口。由于直行待行区的设置, 交叉口的放行次序是先左转后直行, 直行车辆进入冲突点的距离缩短, 在前一相位左转车清空距离不变的情况下绿灯间隔时间增加^[11-12]。后一相位与直行相位的绿灯间隔时间与是否设置直行待行区无关, 故本文不再讨论。如图3所示交叉口几何尺寸图。

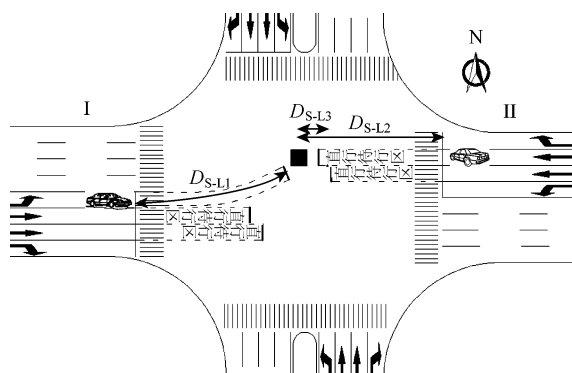


图3 直行待行区设置的几何尺寸图

Fig. 3 Geometric dimensions for setting waiting area for through vehicles

假定交叉口交通状态如图3所示, 各参数含义如下:

D_{S-L1} 为 I 进口停止线至冲突区域边界的距离;

D_{S-L2} 为 II 进口未设置待行区时停止线至冲突边界的距离;

D_{S-L3} 为 II 进口道设置待行区后停止线至冲突边界的距离;

D_L 为标准车长;

a_1 为 I 进口车辆的加速度;

ε 为 I 进口末车通过冲突点的时间;

v 为车辆行驶速度;

v_1 为交叉口限速;

τ'_1 为未设置待行区时绿灯间隔时间;

τ''_1 为设置待行区时绿灯间隔时间;

τ'_2 为 II 进口道未设置待行区时由停止线至冲突区的时间;

τ''_2 为 II 进口道设置待行区时由停止线至冲突区的时间;

δ_2 为 II 进口驾驶员启动反应时间;

a_2^+ 为 II 进口车辆加速度;

R 为全红时间。

图3中的黑色方框是冲突区域, 表示冲突车流运行轨迹交点为核心的一定区域, 冲突车辆不能同

时存在该区域内。

当黄灯开启时, I 进口左转末车越过停止线, 此时绿灯间隔时间要保证末车能安全通过冲突区。末车的速度为 v , 不同驾驶员开车的习惯不同, 通过交叉口的速度也会有差异, 在左转距离 D_{S-LI} 中分别讨论车辆是否达到限速, 下面分别讨论能安全通过冲突区需满足的前提条件。

假设左转相位的红灯启亮时, 左转末车刚好以速度 v 越过停止线, 其到达冲突区域时需要考虑是否达到限速, 以下分别讨论这 2 种情况。

如果未达到限速, 则左转末车通过冲突区的时间为:

$$\varepsilon = \frac{-v + \sqrt{v^2 + 4a_1 D_{S-LI}}}{a_1} \quad (1)$$

如果达到限速, 则左转末车通过冲突区的时间为:

$$\varepsilon = \frac{v_1 - v}{a_1} + \frac{D_{S-LI} - (v_1^2 - v^2)/(2a_1)}{v_1} \quad (2)$$

式 (2) 第一项为左转末车加速的时间, 第二项为达到限速后匀速的时间。

II 进口道直行车道待行区设置改变了头车到冲突区域的距离, 致使绿灯间隔时间发生变化, 故需要分别讨论设置待行区前后绿灯间隔时间的变化, 以下分为未设置和设置待行区的情况:

(1) 未设置待行区, II 进口未设置待行区时停止线前第一辆车启动并加速行驶到冲突区域的时间是 τ'_2 , 车辆持续加速可能会达到限速, 故 τ'_2 存在 2 种可能。

未达到限速, 直行车一直处于加速状态, 此时通过冲突区域的时间为:

$$\tau'_2 = \delta_2 + \left(\frac{2D_{S-L3}}{a_2^+} \right)^{1/2},$$

$$D_{S-L3} - \frac{v_1^2}{2a_2^+} < 0 \quad (3)$$

达到限速时, II 进口道直行车先加速行驶直到限速, 然后再以限速值匀速通过冲突区域, 此时所用的时间为:

$$\tau'_2 = \delta_2 + v_1/a_2^+ + (D_{S-L3} - \frac{v_1^2}{2a_2^+})/v_1,$$

$$D_{S-L3} - \frac{v_1^2}{2a_2^+} \geq 0 \quad (4)$$

(2) 设置待行区时, 和未设置待行区有类似的情况, τ'_2 也存在 2 种可能。

若车辆未到冲突区域前已经达到限速, 则需要

满足:

$$\tau''_2 = \delta_2 + v_1/a_2^+ + (D_{S-L4} - \frac{v_1^2}{2a_2^+})/v_1,$$

$$D_{S-L4} - \frac{v_1^2}{2a_2^+} \geq 0 \quad (5)$$

若车辆到达冲突区域还未达到限速, 则须满足:

$$\tau''_2 = \delta_2 + (\frac{2D_{S-L4}}{a_2^+})^{1/2},$$

$$D_{S-L4} - \frac{v_1^2}{2a_2^+} < 0 \quad (6)$$

直行相位与前一相位的绿灯间隔时间为:

(1) 无待行区时

$$\tau'_1 = \max(\varepsilon + R, \tau'_2 + R) \quad (7)$$

(2) 有待行区时

$$\tau''_1 = \max(\varepsilon + R, \tau''_2 + R) \quad (8)$$

2.1.2 有效绿灯时间

有效绿灯时间 g_e 由绿灯显示时间减去车辆起动延误, 再加上黄灯时间确定。车辆起动延误可以分为反应延误和非饱和延误 2 个部分, 非饱和延误是绿灯刚启亮时直行车辆以非饱和时距通过停止线所造成的损失时间, 由于第 4 辆车之后的直行车辆的延误时间很小, 在这里忽略不计, 一般非饱和延误是由前 2~4 辆直行车造成的, 待行区内储存的车辆数有可能少于 4 辆, 故车辆起动延误存在 2 种可能, 以下分别进行讨论^[13-14]:

(1) 待行区内储存的车辆数 $N \geq 4$ 辆

$$d = \delta_2 + d_1 \quad (9)$$

式中, d_1 为第 2~4 辆车以非饱和车头时距通过停止线所造成的损失时间, $d_1 = 3(h_i - h_s)$, h_i 为初始时距, h_s 为饱和时距。

(2) 待行区内储存的车辆数 $N < 4$ 辆

$$d = \delta_2 + N(h_i - h_s) \quad (10)$$

待行区设置前后影响直行相位的有效绿灯时间, 设置待行区后, 根据交通流波动理论, 排队车辆开始运行时产生启动波, 并且该波以机动车畅行车速 V_f 向后传播。因此, 第 1 停止线后的第 1 辆车启动波经过时间 L_{AB}/V_f 传至第 2 停车线后第 1 辆车。考虑启动波向后传播的时间^[9], 故第 2 停止线后面的直行车的有效绿灯时间为 g'_e , 则有:

$$g_e = G_1 - d + Y_Y - L_s \quad (11)$$

$$g'_e = G_2 - d - N/(k_j \cdot V_f) + Y_Y - L_s \quad (12)$$

式中, G_1 为无待行区直行车道的绿灯显示时间; L_s 为直行车辆的清空时间; G_2 为有待行区后直行车道

的绿灯显示时间; Y_V 为黄灯时长; k_j 为直行待行区内的车辆密度;

未设置待行区直行车道通行能力为 N_1 。设置后直行车辆数由 2 部分组成: 一是根据有效绿灯时间与饱和时距计算出的车辆数; 二是在待行区内储存的车辆数, 饱和时距与是否设置待行区没有关系, 故值不变, 设置待行区后进口道直行车道的通行能力为 N'_1 。通行能力计算如下所示:

$$N_1 = \sum_i \left(\frac{g'_e}{h_s} \times \frac{3600}{C} \right), \quad (13)$$

$$N'_1 = \sum_i \left(N + \frac{g'_e}{h_s} \right) \times \frac{3600}{C'}, \quad (14)$$

式中, N 为待行区储存的车辆数; h_s 为直行车道的饱和时距; C 为无待行区的周期时长; C' 为有待行区的周期时长。

2.2 延误模型

交叉口的平均控制延误等于均匀延误、随机延误和初始排队延误之和。直行待行区的设置影响到其中的均匀延误和随机延误的增量。如图 4 所示, 无待行区时直行车辆的排队长度在 T_A 时刻达到最大值, 在 T_B 时刻消散完所有的排队车辆, 三角形 S_{OAB} 的面积就等于直行车辆的均匀延误。设置待行区后前 N 辆车从时刻 T_D 到时刻 T_E 进入待行区等待, 在 T_F 时刻直行信号灯显示绿灯, 即第 1 停止线后面的直行车辆在时刻 T_F 开始消散, 在 T_H 时刻消散完所有的排队车辆。有待行区后均匀延误时间分 2 部分计算, 一是第 1 停止线后的直行车辆的延误时间, 即多边形区域 S_{ODEFH} 的面积; 二是提前进入待行区的 N 辆车的延误时间, 即多边形区域 S_{DKFE} 的面积, 因此整个均匀延误时间就是三角形 S_{OKH} 的面积, 阴影部分的面积是设置待行区后减少的延误时间。均匀

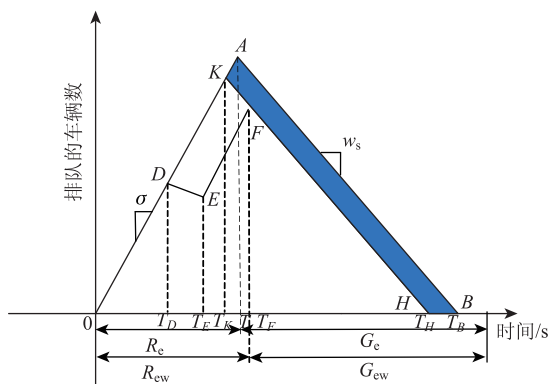


图 4 待行区设置前后延误模型图

Fig. 4 Delay model before and after setting waiting area for through vehicles

延误时间可以用以下公式计算:

$$d_{1w} = \frac{S_{OKH}}{C\sigma} = \frac{1}{2} \times \frac{T_H \cdot \sigma T_K}{C\sigma} = \frac{C}{2} \frac{[1 - (g'_e + N/s_w)/C]^2}{[1 - X_w(g'_e + N/s_w)/C]}, \quad (15)$$

$$X_w = \sigma h_s C' / (3600 G_{ew}), \quad (16)$$

$$s_w = 3600/h_s, \quad (17)$$

式中, d_{1w} 为设有直行待行区的每辆直行车均匀延误时间; σ 为直行车辆的到达流率; X_w 为设有直行待行区的直行车辆的饱和度; s_w 为有直行待行区的直行车辆消散速度; C' 为设有直行待行区的周期时长。

直行待行区的设置使得交叉口内的冲突距离发生了变化, 在同样的周期时长下该相位的绿灯间隔时间增加, 绿灯时间减少, 随机延误的计算公式如下所示:

$$d_{2w} = 900T[(X_w - 1) + \sqrt{(X_w - 1)^2 + 8kIX_w/(cT)}], \quad (18)$$

式中, d_{2w} 为有直行待行区每辆直行车的平均随机延误的时间; T 为分析时间长度; k 为感应控制附加延误校正系数, 一般取 0.5; I 为上游交叉口汇入或限流的影响校正系数, 一般取 1.0; c 为直行车道的通行能力。

得到了平均均匀延误和平均随机延误之后, 直行车辆的平均控制延误 d_w 用式 (19) 求得:

$$d_w = d_{1w} + d_{2w}. \quad (19)$$

3 数据论证

3.1 仿真分析

以北京市典型交叉口—官园桥为例, 该交叉口由双向 6 车道汇集而成。该交叉口东、西进口道分别渠化为 3 条左转专用车道、3 条直行车道和 1 条专右车道; 南进口道为 2 条专左车道、2 条直行车道和 2 条专右车道; 北进口道有 2 条左转车道、3 条直行车道和 1 条专右车道。对南北方向的直行车道进行渠化, 合理设置直行待行区, 在南北直行车道不同饱和度和流量比情况下和对整个设置待行区前后整个交叉口进行多次仿真, 仿真结果如图 5 ~ 图 8 所示。

如图 5 所示, 当流量比较小时, 待行区反而不利于通行能力的提高, 尤其是周期不变的情况下, 原因是流量比小时, 车流量不是很大, 排队的车较少, 待行区停止线的前移缩短冲突点的距离, 绿灯间隔时间有所增大, 故在流量比小的情况下需要慎

重考虑;流量比小时设置待行区能有效地提高直行车道的通行能力,尤其是在周期变化的情况下尤其显著,原因是道路车流量较大时,虽然待行区的设置使绿灯间隔时间增大,但排队车辆提前进入待行区等待,充分利用交叉口的空间区域,提高直行车道的利用率,最大限度地提高直行车道的通行能力。

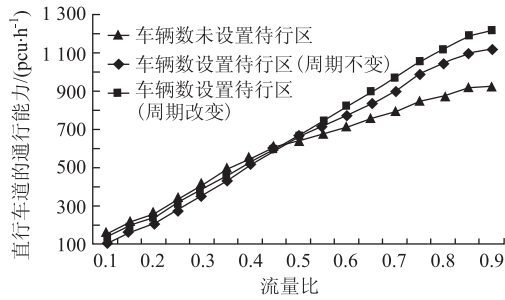


图5 待行区设置前后直行车道通行能力对比图

Fig. 5 Capacity of through lane before and after setting waiting area

如图6所示,流量比较小时,设置待行区反而会导致延误时间的增加,主要是由于流量比小时,直行车道流量不多,无需设置直行待行区,而设置待行区致使停止线前移,绿灯间隔时间增大,无论周期是否改变,势必要减少绿灯时间,虽然车辆可以提前进入待行区,但是由于车辆少,无法真正起到空间和时间的相互转换,致使延误增加。当流量比较大时,设置待行区能有效降低延误时间,随着车流量增多,排队的车辆增加,车辆提前进入待行区等待,达到时间和空间的相互转换,减少了延误时间。

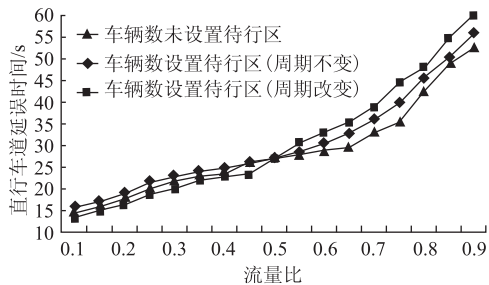


图6 待行区设置前后直行车道延误时间对比图

Fig. 6 Comparison of delay of through lane before and after setting waiting area

如图7、图8所示,在流量比较小时,设置待行区不利于提高交叉口的通行能力,反而还增加延误时间,主要是此时各个进口道的排队车辆不多,在有限的绿灯时间内能通过交叉口,而待行区停止线的前移,增加绿灯间隔时间,导致延误增大;当流

量比较大时,尤其是趋近1时,进口道车辆排队增加,在有限的绿灯时间内无法全部消散,容易导致二次排队,此时设置待行区,能达到时间和空间的相互转换,提高交叉口的通行能力,降低了延误时间。

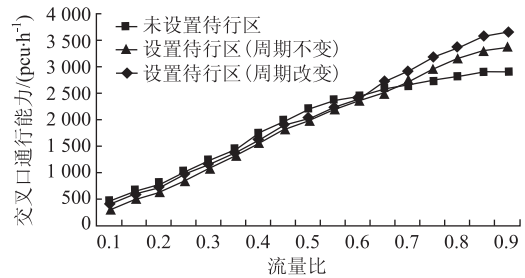


图7 待行区设置前后交叉口通行能力对比图

Fig. 7 Comparison of capacity of intersection before and after setting waiting area

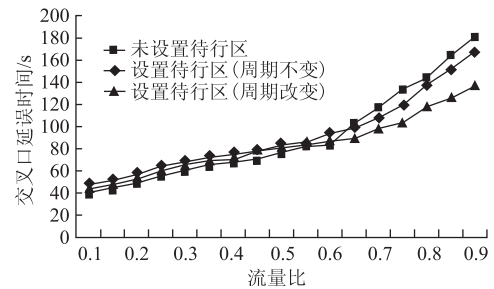


图8 待行区设置前后交叉口延误时间对比图

Fig. 8 Comparison of capacity of intersection before and after setting waiting area

3.2 模型验证

3.2.1 数据采集

调研官园桥路口早晚高峰和平峰的交通流量,流量如表1所示。

表1 交叉口流量统计表 (单位: veh)

Tab. 1 Traffic vlumes of intersection (unit: veh)

时段	南进口道	北进口道	西进口道	东进口道
	左转/直行	左转/直行	左转/直行	左转/直行
早高峰	527/1 632	453/1 688	1 042/1 016	698/1 310
晚高峰	557/1 712	489/1 578	964/1 132	574/1 289
平峰	329/1 067	254/1 068	652/756	398/815

3.2.2 结论分析

根据调研得到的交叉口现状交通流状况,在南北方向设置直行待行区,结合交叉口几何条件和交通数据,在仿真软件模拟设置待行区后的交通仿真,得出结果如表2、表3所示。

(1) 通行能力

由表 2 知早晚高峰期, 设置待行区后提高交叉口通行能力, 平峰时是否设置待行区对通行能力的提高影响不大, 甚至会降低直行车道的通行能力, 进一步论证了上述的观点。设置待行区前后仿真数据与本文提出的模型计算出来的数据大致一致, 验证本文模型的正确性。

表 2 有无待行区通行能力对比表 (单位: pcu/h)

Tab. 2 Comparison of capacity with and without waiting area (unit: pcu/h)

南北直行车道		通行能力		
		早高峰	晚高峰	平峰
未设待行区	仿真数据	1 289	1 316	745
	模型数据	1 324	1 395	798
设置待行区	仿真数据	1 496	1 523	719
	模型数据	1 516	1 574	715
提高率/%		16. 1	15. 7	-3. 4

(2) 延误

由表 3 易知, 早晚高峰时设置待行区, 降低直行车道的延误, 平峰时期, 是否设置待行区对交叉口影响不大, 甚至会增加延误时间, 进一步证实了以上的论述。设置待行区前后仿真数据与本文模型计算出来的数据大致一致, 验证模型的正确性。

表 3 有无待行区延误对比 (单位: s)

Tab. 3 Comparison of delay with and without setting waiting area (unit: s)

南北直行车道		延误		
		早高峰	晚高峰	平峰
未设待行区	仿真数据	98. 2	106. 4	60. 7
	模型数据	86. 9	91. 8	63. 1
设置待行区	仿真数据	87. 5	92. 6	62. 3
	模型数据	86. 9	91. 8	63. 1
减少率/%		11. 5	13. 7	+2. 6

4 结论

设置直行待行区在一定程度上提高交叉口内部空间资源的利用率, 但是并不是所有的交叉口都适合设置待行区。一般在路口空间区域较大且无法满足交通需求时, 通过设置待行区达到充分利用时空资源, 减少延误, 增加通行能力的目的。但是否需要设置待行区还应根据路口的实际交通状况进行可行性分析, 经大量仿真分析验证在流量比达到一定的条件时, 待行区才能充分发挥优势, 进一步缓解交通压力。

参考文献:

References:

- [1] SUN D, BENEKOHAL R F. Analysis of Work Zone Gaps and Rear-end Collision Probability [J]. Journal of Transportation and Statistics, 2005, 8 (2): 71-86.
- [2] 陆化普. 城市交通现代化管理 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.
LU Hua-pu. Urban Transportation Modernization Management [M]. Beijing: China Communications Press, 1999.
- [3] 尚申德, 王山川, 王文红. 信号交叉口直行待行区的设置研究 [J]. 中外公路, 2010, 30 (1): 29-31.
SHANG Shen-de, WANG Shan-chuan, WANG Wen-hong. Research on Setting of Straight Waiting Area in Intersection [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2010, 30 (1): 29-31.
- [4] 左天福, 陶晟陶. 关于设置平面交叉口直行待行区的思考与实践 [J]. 交通与运输, 2011, (1): 21-25.
ZUO Tian-fu, TAO Sheng-tao. Study and Practice on Waiting-area for Through Vehicles at Grade Intersection [J]. Traffic & Transportation, 2011, (1): 21-25.
- [5] 李小帅, 贾顺平, 孙海瑞. 机动车待行区设置方法的实证研究 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2011, 11 (增 1): 194-200.
LI Xiao-shuai, JIA Shun-ping, SUN Hai-rui. Study on the Methods of Establishing Waiting Areas for Auto-vehicles Turning Left and Going Straight at Signalized Intersections [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2011, 11 (S1): 194-200.
- [6] 杨明. 直行待行区平面交叉口交通组织及通行能力研究 [D]. 武汉: 武汉工业学院, 2009: 35-37.
YANG Ming. Study on Organization and Capacity of Waiting-area for Through Vehicles at Grade Intersection [D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2009: 35-37.
- [7] GAO L, MAO B, LIU M, et al. Modeling and Simulation on Left-turn Waiting Area at Isolated Signalized Intersection [C] //2009 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. Los Alamitos: IEEE, 2009, (2): 255-258.
- [8] 倪颖, 李克平, 徐洪峰. 信号交叉口机动车左转待行区的设置研究 [J]. 交通与运输, 2006 (2): 32-36.
NI Ying, LI Ke-ping, XU Hong-feng. Research on Waiting-area for Left-turning Vehicles in Signalized Intersections [J]. Traffic & Transportation, 2006 (2): 32-36.

(下转第 148 页)

- LIU Zhi-yong, LIU Ying-jian. Image Extraction and Segmentation in License Plate Recognition [J]. Journal of Chinese Information Processing, 2000, 14 (4): 29-34.
- [8] 周律, 汪亮, 周昱明, 等. 基于固定颜色搭配搜索和形态学的车牌定位 [J]. 公路交通科技, 2013, 30 (5): 118-125.
- ZHOU Lü, WANG Liang, ZHOU Yu-ming, et al. License Plate Location Based on Fixed Color Assortment Search and Morphology [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2013, 30 (5): 118-125.
- [9] FRANCESCA O. Experiments on a License Plate Recognition System, DISI - TR - 06 - 17 [R]. Genoa: University of Genova, 2007.
- [10] 蒋治华, 陈继荣, 王卫. 一种非传统车牌倾斜矫正方法 [J]. 计算机应用研究, 2006, 23 (3): 175-177.
- JIANG Zhi-hua, CHEN Ji-rong, WANG Wei. A Non-traditional Deflection-rectify Algorithm for LPR [J]. Application Research of Computers, 2006, 23 (3): 175-177.
- [11] 翟伟芳. 具有倾斜矫正功能的车牌定位和字符分割算法研究 [D]. 天津: 河北工业大学, 2007.
- ZHAI Wei-fang. Research on Car License Location and Character Division Which Has Adjustment Function for Inclines [D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2007.
- [12] 谢伟生. 车牌定位及字符分割算法的研究与实现 [D]. 成都: 西南交通大学, 2010.
- XIE Wei-sheng. Research and Implementation on Algorithms of License Plate Location and Character Segmentation [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2010.
- [13] 贾震斌. 基于图像分析的汽车牌照定位和字符分割算法研究与实现 [D]. 苏州: 苏州大学, 2006.
- JIA Zhen-bin. Research and Implementation of Vehicle License Plate Positioning & Characters Segmentation Algorithm Based on Image Analysis [D]. Suzhou: Soochow University, 2006.
- [14] 谷秋岷. 基于模板匹配的车牌字符识别及其判别函数的研究 [D]. 太原: 中北大学, 2012.
- GU Qiu-di. Research of License Plate Character Recognition and Discriminant Function Based on Template Matching [D]. Taiyuan: North University of China, 2012.
- [15] 孟庆远. 车牌识别系统中字符识别技术研究 [D]. 太原: 中北大学, 2011.
- MENG Qing-yuan. Research on Character Recognition Technology in Vehicle License Plate Recognition System [D]. Taiyuan: North University of China, 2011.
- [16] 邢博, 梁德群, 李文举. 一种新的车牌数字及字母字符识别方法 [J]. 辽宁师范大学学报: 自然科学版, 2005, 28 (1): 55-58.
- XING Bo, LIANG De-qun, LI Wen-ju. A New Method for Number and Letter Character Recognition of License Plate [J]. Journal of Liaoning Normal University: Natural Science Edition, 2005, 28 (1): 56-58.
- +++++
- (上接第 126 页)
- [9] 刘宇鹏. 信号交叉口直行车道通行能力研究 [D]. 吉林: 吉林大学, 2009: 40-41.
- LIU Yu-peng. Research on Capacity of Straight Lane at Signalized Intersection [D]. Jilin: Jilin University, 2009: 40-41.
- [10] 臧晓冬, 周伟. 基于车头间距变量的通行能力理论模型 [J]. 公路交通科技, 2010, 27 (2): 103-107, 113.
- ZANG Xiao-dong, ZHOU Wei. Theoretic Capacity Model Based on Variable Space Headway [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2010, 27 (2): 103-107, 113.
- [11] 马万经, 聂磊, 杨晓光. 单点定时信号最优控制模型及仿真分析 [J]. 系统仿真学报, 2007, 19 (19): 4543-4547.
- MA Wan-jing, NIE Lei, YANG Xiao-guang. Optimization Model and Simulation Analyses of Pre-timed Signals Control at Isolated Intersections [J]. Journal of System Simulation, 2007, 19 (19): 4543-4547.
- [12] 王秋平, 谭学龙, 张生瑞. 城市单点交叉口信号配时优化 [J]. 交通运输工程学报, 2006, 6 (2): 60-64.
- WANG Qiu-ping, TAN Xue-long, ZHANG Sheng-rui. Signal Timing Optimization of Urban Single-point Intersections [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006, 6 (2): 60-64.
- [13] 张萌萌, 贾磊, 邹难, 等. 单点交叉口鲁棒优化信号配时研究 [J]. 公路交通科技, 2011, 28 (1): 107-111.
- ZHANG Meng-meng, JIA Lei, ZOU Nan, et al. Robust Optimal Traffic Signal Timing of Urban Single-point Intersection [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2011, 28 (1): 107-111.
- [14] 吕斌, 牛惠民. 随机条件下单点交叉口绿灯时间计算方法研究 [J]. 公路交通科技, 2010, 27 (2): 108-113.
- LÜ Bin, NIU Hui-min. Calculation Method of Green Time for Pre-timed Signal Control at Isolated Intersection under Random Condition [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2010, 27 (2): 108-113.