

文章编号: 1002-0268 (2009) 11-0132-04

机动车左弯待转区设置的临界条件

王殿海¹, 李丽丽², 陈永恒¹

(1. 吉林大学 交通学院, 吉林 长春 130022; 2 交通部管理干部学院, 北京 101601)

摘要: 为寻求左弯待转区的设置依据, 分析了交叉口的几何形状, 给出了设置左弯待转区的几何临界条件; 利用累计曲线和交通波理论建立了左转弯排队位置模型, 如果交叉口的渠化方案和信号配时方案保持不变, 应用排队位置模型可以得出在排队长度约束下的临界流量和极限流量; 如果左转弯的到达率一定时间段是稳定不变的, 可以得到设置左弯待转区的左转相位最短绿灯时间和最长红灯时间。研究成果可为左弯待转区的设置提供理论依据。

关键词: 交通工程; 左弯待转区; 流量; 阈值; 最短绿灯时间; 最长红灯时间

中图分类号: U491

文献标识码: A

Critical Condition for Setting Left-turn Waiting Area

WANG Dianhai¹, LI Lili², CHEN Yongheng¹

(1. College of Transportation, Jilin University, Changchun Jilin 130022, China;

2 Transport Management Institute Ministry of Transport of People's Republic of China, Beijing 101601, China)

Abstract: To seek the theoretical foundation for the layout of the left-turn waiting area, the geometry of the intersection was analyzed, and the geometrical critical condition for set up left-turn waiting area was put forward. The model of left-turn queuing location was established based on accumulation curve and traffic wave theory. On the condition that channelization and signal timing method of intersection is invariable, the critical volume and limit volume under the restriction of queue length according to the model can be found out. If the arrival rate of left-turn vehicles is stable in a certain period of time, the minimum green time and the maximum red time of left-turn phase of the left-turn waiting area can be obtained. The result provides a theoretical basis for set up left-turn waiting area.

Key words: traffic engineering; left-turn waiting zone; volume; threshold; minimum green time; maximum red time

0 引言

平面交叉口内左转弯和直行车的冲突是造成交叉口通行能力下降的重要原因。由于大部分城市交叉口的左转弯车道都是通过拓宽进口道得到的, 因此长度有限, 在左转相位红灯期间, 当左转弯排队长度超过左转弯车道长度时, 后续到达的左转弯车会从左转弯车道溢出, 尾随其后的其他车辆也随之受到阻滞延误, 导致道路的拥堵, 整个进口道的通行能力就会受到影响。为了增大左转弯车道的容量, 减少左转弯车的溢出, 可以

改善交叉口的渠化条件来达到目的, 但是, 有时交叉口的几何条件受限, 既不能延长左转弯车道, 也不能增加左转弯车道, 此时, 可以考虑将左转弯车道的停车线提前, 在交叉口内部设置左弯待转区。

左弯待转区是近年来产生的新生事物, 1999年, 交通部、公安部制订并颁发的中华人民共和国国家标准《道路交通标志和标线》(GB5768-1999) 中新增的一种指示标线——左弯待转区, 但是并没有涉及左弯待转区的设置方法。国内的一些学者也对此进行了一些探索: 丁威、翟希^[1-2]利用冲突点法, 以后置型专

收稿日期: 2008-10-09

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目 (2006BAJ18B07-03); 国家重点基础研究发展计划 (九七三计划) 资助项目 (2006CB705505)

作者简介: 王殿海 (1962-), 男, 吉林大安人, 教授, 博士生导师, 研究方向为交通流理论与交通控制。(wangdianhai@sohu.com)

用相位左转车道的待行区为例, 详细分析了左弯待转区工作原理, 解释了本向左转弯车辆与对向直行车辆通过冲突点附近时的相互关系; 倪颖^[3]按照停车线法, 结合交通流波动理论, 讨论了左弯待转区对交叉口通行能力的影响; 陈永恒^[4]、金勇^[5]针对左弯待转区在实际使用中存在的误区和不合理之处, 对左弯待转区的设置利弊进行了详细的分析和研究, 得出了左弯待转区的优缺点以及在工程设计中应该注意的事项; 季彦捷等^[6]对左转机动车等待区的设置方法和设置长度进行了初步分析, 并通过实例分析对比了左转机动车等待区设置前后的交通效益指标。

总之, 已有文献对左弯待转区的研究主要集中在如何设置上面, 没有给出左弯待转区设置的依据, 可见, 有必要从交通流的基本理论入手, 对左弯待转区的设置依据进行深入的研究。

1 左弯待转区设置的临界条件

1.1 几何临界条件

左弯待转区的设置首先与交叉口的尺寸有关, 如果交叉口的尺寸不符合要求, 就不能采用设置左弯待转区这种方式来缓解左转车溢出造成的拥堵问题。

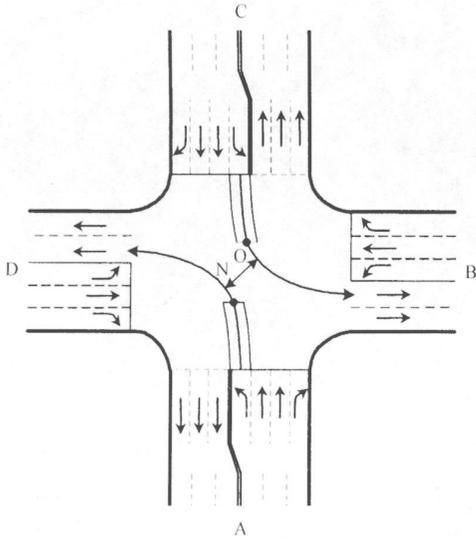


图 1 设置左弯待转区交叉口示意图

Fig 1 Schematic diagram of intersection with waiting area for left-turn vehicles

在图 1 中: 以 A、C 进口为例, 如果设置左弯待转区, 当直行车流有通行权的时候, 左转车流可以进入待转区内, 等待左转相位的绿灯时间, 当左转车流具有通行权的时候, 停在左弯待转区内的车辆开始转弯, 由于设置了左弯待转区, 左转车流的转弯轨迹将向交叉口的中心偏移, 此时, 必须保证 A、C 进口道

的左转车流在通过交叉口时保持一定的安全距离, 避免发生车辆的冲突。即:

$$|ON| \geq d_s, \quad (1)$$

式中, d_s 为机动车辆安全交叉所需要的最小距离。

综上, 在不考虑非机动车的条件下, 设置左弯待转区的交叉口几何尺寸必须满足(1)式中的约束条件, 才能避免由于设置左弯待转区产生的冲突。

1.2 流量临界条件

左转车在信号交叉口的排队如图 2 所示。

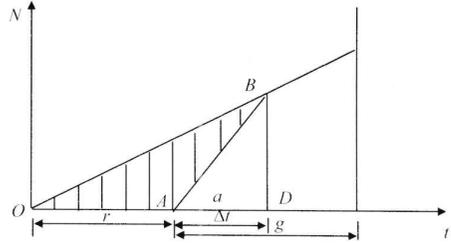


图 2 左转车排队示意图

Fig 2 Schematic diagram of queue of left-turn vehicles

在信号交叉口红灯期间, 车辆在停车线前依次排队, 随着红灯时间的延续, 排队长度不断增长, 在红灯结束时刻, 出现最大排队^[7-8], 即 $N_m = qr$, 由图 2 不难看出 $q(r + \Delta t) = S\Delta t$, 即:

$$\Delta t = \frac{qr}{S - q},$$

其中, N_m 为左转车最大排队车辆数; q 为左转车的到达率; r 为左转相位红灯时长; S 为左转相位的饱和流率; Δt 为排队车辆全部通过交叉口的时间。

在绿灯启亮时, 左转排队车辆开始起动, 形成起动波^[9], 起动波以速度从前向后传播, 假定交叉口处于未饱和状态, 那么所有的排队车辆都可以在一个周期内放完, 所以左转车排队最远位置为:

$$X = u \cdot \Delta t = u \frac{qr}{S - q}. \quad (2)$$

排队位置与左转车道长度 L_F 、左弯待转区的长度 L_W 的关系可以分为以下 5 种情况讨论:

(1) 当 $X < L_F$ 时, 左转车的排队没有溢出左转车道, 不必设置左弯待转区;

(2) 当 $X = L_F$ 时, 左转车恰好排满左转车道, 这是一种临界状态, 可以认为此时左转车辆的排队不会造成临近车道的延误, 因此不必设置左弯待转区;

(3) 当 $L_F < X < L_F + L_W$ 时, 左转车溢出左转车道, 设置左弯待转区恰好可以缓解左转车的溢出;

(4) 当 $X = L_F + L_W$ 时, 左转车恰好排满左转车道和左弯待转区, 这是一种极限状态;

(5)当 $X > L_F + L_W$ 时,即使设置左弯待转区,左转车的通行能力已经不能满足交通需求,需要采取其他措施来解决左转车的溢出问题。

假设交叉口的信号配时方案为固定式信号配时方案,那么从 $X = u \frac{q}{S - q}$ 可以看出,排队位置是关于 q 的函数,也就是说,排队位置只与左转车的到达率有关。当 $X = L_F$ 时,临界流量 $q_c = \frac{L_F S}{L_F + u r}$; 当 $X = L_F +$

$$q_l = \frac{(L_F + L_W) S}{(L_F + L_W) + u r}$$

由以上分析可知:只有当 $q_c < q < q_l$ 时,设置左弯待转区才能有效的缓解左转车的溢出,减少由于溢出造成的延误。

1.3 信号配时临界条件

(1)左转相位最短绿灯时间

设置左弯待转区后,左转相位最短绿灯时长^[10]可由允许最大排队全部驶出交叉口的时间来确定,允许左转车最大排队长度就是左弯待转区的长度与左转弯道的长度之和,因此左转相位的最短绿灯时长为:

$$g_{\min} = \frac{L_F + L_W}{S \cdot j}, \quad (3)$$

式中, g_{\min} 为设置左弯待转区后的左转相位最短绿灯时间; j 为平均每辆车要占据的车道长度。

(2)左转相位最长红灯时间

由左转弯道所允许的最大排队长度来确定左转相位允许的最长红灯时间,左转弯道最大排队长度就是左弯待转区的长度与左转弯道的长度之和,因此左转相位的最长红灯时长为:

$$r_{\max} = \frac{L_F + L_W}{q_j} - t_L, \quad (4)$$

式中, r_{\max} 为设置左弯待转区所允许的最长红灯时间; t_L 为左转相位绿灯开始时形成的起动脉波传到排队的

最后一辆车的时间,即 $t_L = \frac{L_F + L_W}{u}$ 。

2 实例分析

下面以一个四相位交叉口为例,交叉口几何及渠化情况如图1所示,南、北进口道左转弯道存储长度 $L_F = 35$ m, 预设值左弯待转区的长度为 $L_W = 20$ m。交叉口各进口道交通流量及相位构成(车辆右转不受限制)见表1。研究在南、北进口道设置左弯待转区的临界条件。

表1 交叉口特性

Tab 1 Characters of signalized intersection

交通流 行进方向	第1相位		第2相位		第3相位		第4相位	
	东→西	西→东	东→南	南→西	北→南	南→北	西→北	东→西
车辆到达率/ (veh ^o h ⁻¹)	288	324	156	173	360	468	210	176
饱和流率/ (veh ^o h ⁻¹)	1 620	1 620	1 584	1 584	1 800	1 800	1 656	1 656
绿灯时长/s	23		13		30		15	

步骤1: 本文机动车最小安全交叉距离 d_s 取 2 m。图2中, $ON = 5 > 2$ m。

由此可知:若在交叉口南北进口道设置左弯待转区,交叉口的几何尺寸满足设置要求。

步骤2: 本文起动脉的波速取 20 km/h。由式(3)得到交叉口的临界流量 q_c 和极限流量 q_l :

$$q_c = \frac{0.035 \times 1\,656}{0.035 + 20 \times 66/3\,600} = 144 \text{ veh/h,}$$

$$q_l = \frac{0.055 \times 1\,656}{0.055 + 20 \times 66/3\,600} = 216 \text{ veh/h.}$$

南北进口道的左转弯车到达率分别为 $q_1 = 210$ veh/h, $q_2 = 176$ veh/h, 且满足 $q_c < q_1 < q_l$, $q_c < q_2 < q_l$, 从左转弯车到达率的角度可以考虑设置左弯待转区来缓解左转车的溢出问题。

步骤3: 由公式(4)可以得出设置左弯待转区后左转相位的最小绿灯时间为:

$$g_{\min} = \frac{55 \times 3\,600}{1\,656 \times 7.6} = 16 \text{ s}$$

左转相位的绿灯时间 $15 < 16$ s, 说明需要增加左转相位的绿灯时间。

步骤4: 由公式(5)得出设置左弯待转区后允许最长红灯时间为:

$$r_{\max} = \frac{55 \times 3\,600}{210 \times 7.6} - \frac{55 \times 3\,600}{20 \times 1\,000} = 114 \text{ s,}$$

左转相位的红灯时间 $66 < 114$ s, 符合要求。

从步骤3和步骤4的计算可以看出,设置左弯待转区后需要改变信号配时方案,因为设置左弯待转区后,左转相位没有满足最小绿灯时间的要求,这样左转弯车不能在一个周期内放完,若干个周期后排队会逐渐变长,最后导致溢出左转弯道,造成延误。信号配时方案调整见表2所示。

3 结论

本文通过分析交叉口的几何形状,给出了设置左弯待转区的几何临界条件;根据累计曲线原理和交通波理论的知识建立了信号交叉口左转弯车排队位置模型,并得出了设置左弯待转区的流量阈值;为保证进

表 2 设置左弯待转区后的交叉口信号配时方案

Tab 2 Signal-planning of the layout of the left-turn waiting area

交通流 行进方向	第 1 相位	第 2 相位	第 3 相位	第 4 相位
	东→西	东→东	南→北	南→北
	西→东	东→南	北→北	南→西
	东→西	东→东	南→北	南→北
绿灯时长/s	23	13	30	16

入左弯待转区和左转车道的车辆在一个周期内全部驶出交叉口, 给出了以最大排队长度消散时间为约束的最小绿灯时长和最长红灯时间, 最后通过算例验证了设置左弯待转区的临界条件, 以及设置左弯待转区后的信号配时方法。为左弯待转区的设置提供了理论依据。

参考文献:

References:

- [1] 丁威, 翟希. 信号控制交叉口左转车道待行区设置研究 [J]. 西安建筑科技大学学报, 2007, 39 (4): 580—583.
DING Wei, ZHAI Xi. Study on the Setting Methods of Left-turn Waiting Zone at Signalized intersection [J]. Journal of Xi'an University of Architecture and Technology, 2007, 39 (4): 580—583.
- [2] 翟希. 后置型专用相位左转车待行区设置研究 [J]. 道路交通与安全, 2005, 5 (5): 28—30.
ZHAI Xi. Analysis of Left-turn Waiting Zone for Protected Left Lane Lagging [J]. Journal of Transportation and Safety, 2005, 5 (5): 28—30.
- [3] 倪颖, 李克平, 徐洪峰. 信号交叉口机动车左待行区的设置研究 [J]. 交通设计, 2006 (12): 32—36.
NI Ying, LI Keping, XU Hongfeng. Research on Waiting-area for Left-turning Vehicles in Signalized Intersection [J]. Traffic and Transportation, 2006 (12): 32—36.
- [4] 金勇. 平面交叉口转弯车流交通组织优化方法研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2006.
JIN Yong. Research on Traffic Organization Optimization Methods of Turning-vehicle Flows at At-grade Intersections [D]. Changchun: Jilin University, 2006.
- [5] CHEN Yongheng, QU Zhaowei, WANG Dianhai. Analysis on Waiting Area for Left-turn Vehicles at Signalization [C] // Proceedings of the Fifth International Conference on Traffic and Transportation Studies ICTTS 2006 Beijing: Science Press, 2009: 288—298.
- [6] 季彦捷, 邓卫, 王伟. 信号交叉口左转机动车等待区设置方法研究 [J]. 公路交通科技, 2006, 23 (3): 135—138.
JI Yanjie, DENG Wei, WANG Wei. Study on the Layout of Left-turn Vehicles Waiting Area at Signalized Intersections [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2006, 23 (3): 135—138.
- [7] MAY A D. Traffic Flow Fundamentals [M]. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 1990.
- [8] 王殿海. 交通流理论 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
WANG Dianhai. Traffic Flow Theory [M]. Beijing: China Communications Press, 2002.
- [9] 曲昭伟, 王殿海, 姚荣涵. 信号交叉口起动波的运动学模型 [J]. 吉林大学学报, 2008, 38 (2): 268—272.
QU Zhaowei, WANG Dianhai, YAO Ronghan. Kinematic Model of Start Wave at Signalized Intersection [J]. Jilin University, 2008, 38 (2): 268—272.
- [10] WANG Dianhai, SONG Xianmin, LI Feng. Research on Offset Optimization of Signalized Arterials [C] // Proceedings of the 5th International Conference on Traffic and Transportation Studies ICTTS 2006 Beijing: Science Press, 2009: 584—594.
- [11] House, 2007.
- [12] BRAKE Rural Roads [EB/OL]. [2007-12-18] <http://www.brake.org.uk>, 2006.
- [13] HARTLEY L. Fatigue and Driving [R]. Western Australia, Australia: Murdoch University, 2006.
- [14] U. K. Department for Transport. Child Road Safety in Rural Areas: Literature Review and Commentary (No. 32) [EB/OL]. [2007-12-18] <http://www.dft.gov.uk>, 2003.
- [15] FLETCHER J. Optimum Provision of Lighting at Rural Junctions [R]. Wokingham, Berks, U. K.: Transport Research Laboratory, 2000.
- [16] Royal Society for the Prevention of Accident. Rural Road Safety: A Resource for Key Stages 1 & 2 [R]. Birmingham, U. K.: RoSPA, 2005.
- [17] Transport Canada. Results of Transport Canada's September 2004 Survey of Seat Belt Use in Rural Areas of The County [EB/OL]. [2007-11-22] <http://www.tc.gc.ca>, 2005.
- [18] Transport Canada. Results of Transport Canada's September 2006 Survey of Seat Belt Use in Rural Areas of the County [EB/OL]. [2007-11-22] <http://www.tc.gc.ca>, 2007.
- [19] QUIROS L, SHAVER B. Rural Road Links: A Review on Current Research Projects & Initiatives Aimed at Reducing Vehicle Crash Fatalities on Rural Roads [R]. Oakland, CA, U. S.: eScholarship Repository, University of California, 2003.
- [20] The Royal Society for the Prevention of Accidents. Road Safety Information: Rural Road [R]. Birmingham, U. K.: RoSPA

(上接第 131 页)