

蝴蝶领结型交叉口交通组织与几何参数计算

李妙晗¹,薛茂炎¹,徐鹏¹,王新竹¹,阳丹²

(1.武汉市交通规划设计有限公司,湖北武汉 430014; 2.武汉工程大学 湖北武汉 430070)

摘要:为消除平面交叉口左转交通对交叉口的瓶颈作用,采用蝴蝶领结型交叉口交通组织方式,禁止交叉口车辆左转,将左转车流引至次要道路的环岛处进行掉头,将左转车流变成直行车流,并根据车速、道路和交通条件推导了掉头环岛与交叉口的距离、半径和车道宽度的计算模型。经过蝴蝶领结型交叉口交通组织以后,使交叉口的车辆禁止向左行驶,促使冲突点减少且信号控制只需两个相位,能够将交叉口信号灯的利用率提升,对交叉口运行效率具有显著提升效果。

关键词:交通工程;平面交叉口;蝴蝶领结型交叉口;几何参数

中图分类号: U491.51

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)05-0020-04

0 引言

蝴蝶领结型交叉口为在次干道上建设环岛来完成相交的主、次干道左转车辆的远引掉头(见图1)。中央主路口禁止车辆直接向左行驶,主干道上的车辆如需向左行驶需要首先右转进入次干道,再通过迂回环岛后掉头和对向车流汇合,最后直行通过路口;次干道车辆若要实现左转,需直行驶出交叉口,通过迂回环岛后掉头和对向车流交汇,直行至主交叉口后右转,蝴蝶领结型交叉口组织流线见图2。

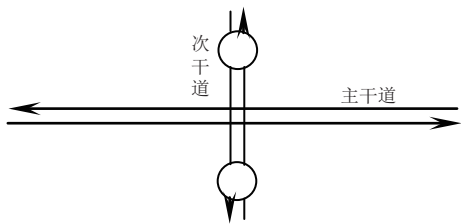


图1 蝴蝶型交叉口

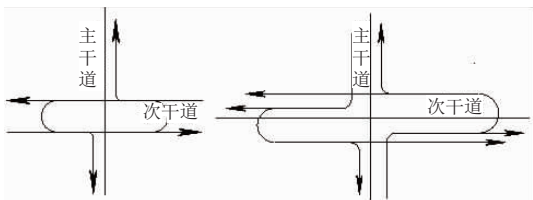


图2 蝴蝶领结型交叉口交通组织图

1 迂回环岛与主交叉口距离计算

迂回环岛的选址需不涉及其他交叉口或是迂回

环岛的功能区。因为主干道上的左转车辆必须在进入交叉口后右转汇入次干道,实现和次干道上直行车流的交汇、分流,故迂回环岛应设置在能够让主干道上左转车辆在次干道上完成交汇、分流过程的距离上,避免增加新的冲突点。而次干道上行驶的车流,不论直行还是左转,通过环岛时都会被环岛设计车速所限制。综上,迂回环岛的选址和道路条件、交通条件与车速均存在比较密切的关系。

1.1 考虑车辆运行特征条件的距离计算

根据驾驶员行车特性,次干道上的车辆驶出交叉口后会逐渐加速,但行至迂回环岛处会受到环岛设计车速的限制降速(迂回环岛设计车速通常低于路段限速),最终会以环岛规定车速经过环岛直行或者绕过环岛掉头。

车辆自主交叉口处启动后车辆运行速度由零加速至最大速度 V_{ma} ,后减速至环岛处车速 V_c 的最小距离 $L(m)$ 。即:

$$L \geq \frac{1}{12.96} \left(\frac{V_{ma}^2}{2a_1} + \frac{V_c^2}{2a_2} \right) \quad (1)$$

式中: V_{ma} 为路段中最大速度; a_1 为车辆加速度; a_2 为减速度; V_c 为环岛处车速。

根据汽车行驶特性,在环岛半径 R 一定时,汽车运行于平曲线上不发生翻倒的最大允许速度是 V_c 。则^[1]可用下式计算:

$$V_c = \sqrt{127R(\mu \pm i_h)} \quad (2)$$

式中: μ 为横向力系数(大客车为0.10~0.15,小客车为0.15~0.20); i_h 为车道坡度,选取城市道路最小排水坡度。

收稿日期:2022-4-22

基金项目:武汉市城建局科技计划项目(202121)

作者简介:李妙晗(1986—),女,工程硕士,规划师,从事交通规划设计工作。

将(2)式代入(1)式中即可得到

$$L \geq \frac{1}{12.96} \left(\frac{V_{ma}^2}{2a_1} + \frac{V_{ma}^2 - 127R(\mu \pm i_h)}{2a_2} \right) \quad (3)$$

1.2 考虑跟驰条件下的车队长度计算

对主交叉口处的信号控制作用进行研究,按照一定释放率 q_r 在一个信号周期内放行路口内的排队车辆,于是能够计算出一个信号周期内主交叉口释放的车辆数为^[2]:

$$Q_r = q_r \times t_g \quad (4)$$

式中: Q_r 为通过车辆数; q_r 为释放率; t_g 为信号周期时长。

对平面交叉口放行车流的运行特性进行了解,发现车流逐渐加速离开交叉口时,后方车辆的行驶速度通常低于前车车速,行驶一定间隔后,后车与前车车速逐渐变为同步跟驰状态^[3]。假设车辆刚刚驶离主交叉口,车辆便居于同步跟驰状态,那么此时明确前车后车的车头间距就能够得到跟驰车队长度。

假设车速调节前,前后车为同一车速 u_1 匀速行驶,且车头间距 $s(t \leq t_0)$ 与速度 u_1 为对应关系。调整期间,前车加速度是 a_n ,后车的加速度是 a_{n+1} ;调整之后,前后车速度达到统一,以 u_2 匀速行驶。最小停车安全车头距离 l 是车身长度。 $x_n(t_0)$ 是 t_0 时刻后车所在位置, T 是后车反应时间, Δt_n 是后车的速度调整所需时间,设 $s(t) = x_n(t) - x_{n+1}(t)$ 是 t 时刻两车的车头间距^[4],则车头间距为:

$$S_{\min} = l + T(u_2 - u_1) + \frac{(a_{n+1} - a_n)(u_2 - u_1)^2}{2a_n a_{n+1}} \quad (5)$$

由上,可得跟驰模型条件下的车队长度为:

$$L = l q_r t_g + (q_r t_g - 1) \left(l + T(u_2 - u_1) + \frac{(a_{n+1} - a_n)(u_2 - u_1)^2}{2a_n a_{n+1}} \right) \quad (6)$$

1.3 考虑延误的距离计算

进行渠化设计后的蝴蝶领结型交叉口总延误相较之前有所降低。

(1) 渠化前的延误计算

在未进行渠化设计时,该信号交叉口的总延误可由交叉口各相位的车流量,结合车流的平均延误数据。对于 i 相位,选取 Webster 公式^[5]得到车流的平均延误:

$$d_i = \frac{c(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q_i(1-x)} - 0.65 \left(\frac{c}{q_i} \right)^{1/3} x^{(2+5\lambda)} \quad (7)$$

式中: d_i 为 i 相位车流的平均延误; c 为交叉口信号周期长度; λ 为绿信比; $\lambda = g/c$, g 为绿灯时间; q_i 为 i 相位的实际通过流量; x 为饱和度, $x = q_i/C_i$, C_i 为 i 相位的通行能力。

于是,能够计算出主交叉口的总延误:

$$D = \sum_i q_i \times d_i \quad (8)$$

(2) 渠化后的延误计算

平面信号交叉口进行渠化设计后,车流的延误由两类组成:一类为因信号控制导致的等待延误;另一类为车辆驶离平面交叉口后产生的延误^[6]。等待延误可以运用式(7)计算获知。而左转车辆驶离交叉口后的延误则包含绕行延误、汇入对向车流变更车道所带来的干扰延误与在环岛掉头入口处的排队延误三类。

考虑到左转掉头车辆与对向车流合流后再变更车道所造成的干扰延误较小,故干扰延误直接利用绕行延误进行统一计算;同时因车辆在行驶时会有因客观因素的影响加速减速的情况,故计算过程中车辆绕行速度与路段设计速度相比略小。因此,左转车流驶离交叉口后的延误由两部分组成,分别是绕行延误、环岛掉头进口处的排队延误。绕行延误选取左转车流的绕行平均速度计算:

$$D_{rx} = C_1 \times 2L_{pd} / v \quad (9)$$

式中: D_{rx} 为绕行延误; C_1 为左转掉头道的通行能力; L_{pd} 为左转排队长度; v 为绕行平均速度,因考虑真实驾驶时加速、减速、停车等状况的影响,可运用公式 $v = k v_{\text{设计}}$ 进行修正。

综上,交叉口进行渠化设计后的总延误为:

$$D' = D_{\text{干扰}} + D_{\text{排队}} + D_{rx}$$

$$D' = \sum_i^{q_i} \left(\frac{c(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q_i(1-x)} - 0.65 \left(\frac{c}{q_i} \right)^{1/3} x^{(2+5\lambda)} \right) + C_1 \times 2L_{pd} / v \quad (10)$$

综上,能够得到交叉口适合设置蝴蝶领结型远引的条件是:

$$\Delta D = D - D' > 0 \quad (11)$$

综合上述分析,可得到迂回环岛位置的计算模型为:

$$\begin{cases} L = l Q_r + (Q_r - 1) \left(l + T(u_2 - u_1) + \frac{(a_{n+1} - a_n)(u_2 - u_1)^2}{2a_n a_{n+1}} \right) \\ L \geq \frac{1}{12.96} \left(\frac{V_{ma}^2}{2a_1} + \frac{V_{ma}^2 - 127R(\mu \pm i_h)}{2a_2} \right) \\ D - D_{\text{等待}} - D_{\text{次等待}} - D_{rx} > 0 \end{cases} \quad (12)$$

2 迂回环岛的半径及车道宽度

2.1 迂回环岛的半径

绕迂回环岛回转的车流需行驶于距离环岛最近的车道上排队掉头进入对向车流。设该车道宽度为

b (m), 则车辆距离环岛 $b/2$ (m), 于是^[7]转弯半径 R 为:

$$R = \frac{V^2}{127(\mu \pm i_h)} - \frac{b}{2} \quad (13)$$

式中: R 为迂回环岛半径, m; b 为紧贴环岛的车道宽度, m; V 为环岛设计速度, km/h, 国外通常选取路段设计速度的 0.7 倍, 我国依照现场实测得出, 公共汽车为设计速度的 0.5 倍, 载重车为设计速度的 0.6 倍, 小客车为设计速度的 0.65 倍。

综上, 能够得出各类情况下迂回环岛的半径, 如表 1 所示。

表 1 迂回环岛的半径

转向车型	小车	公交	载重汽车
环岛半径 /m			
小车 0.65V			41
公交 0.50V	32	28	
货车 0.60V			
1/3V	7.5	13	13
极限半径 /m	5~7	9~12	9~12

2.2 环岛处车道宽度

迂回环岛处的交通流由主路上游左转车流以及次路上、下游直行车流构成, 其通行能力应比主交叉口处的大^[8], 否则迂回环岛处左转车辆排队掉头易产生拥堵点。在环岛处左转掉头车辆可均看作在离环岛最近的车道上完成左转, 且掉头时可看作为匀速驶过环岛, 因此一条车道的通行能力可用以下公式计算:

$$C_{11} = \frac{1000V_1}{l + T(u_2 - u_1) + \frac{(a_{n+1} - a_n)(u_2 - u_1)^2}{2a_n a_{n+1}}} \quad (14)$$

式中: C_{11} 为离环岛最近车道的通行能力; V_1 为离环岛最近车道上掉头车辆车速; T 为信号周期; u 为车辆速度; a 为车辆加速度。

直行车辆离开交叉口后通常加速行驶, 在到达环岛时的速度 V_r 总是大于或等于在交叉口处的车速, 因此, 无需在环岛处增加直行车道数。

综上所述, 迂回环岛处的车道宽度可用以下公式计算:

$$D = \frac{C_1}{C_{11}} + N_s \times 3.5 \quad (15)$$

式中: C_1 是主交叉口处主干道、次干道相加的左转交通量; C_1/C_{11} 取整计算; N_s 为主路上单向直行车道数。

3 实例分析

(1) 交通数据调查

论文以武汉市徐东大街与友谊大道交叉口为例

探究论文提出方法的可行性。该交叉口东西向为徐东大街, 双向 6 车道; 南北向为友谊大道, 双向 5 车道, 中央设置了专供机动车直行的地下通道, 信号周期 $T=124$ s, 表 2 表 3 分别为该交叉口高峰小时交通流量和信号配时。

表 2 现状交叉口高峰小时交通流量 单位: pcu/h

进口方向	左转	直行	右转
东进口	734	196	478
西进口	1 104	330	432
北进口	1 998	418	1 280
南进口	1 950	290	704

表 3 现状交叉口信号控制方案

相序	第一相位	第二相位	第三相位	第四相位
相位	西直左	南北左	南北直	东直左
绿灯时间 /s	27	13	57	15

过江车辆聚集于此交叉口, 在高峰小时里出现了二次排队的现象, 甚至三次排队, 同时友谊大道左转交通量较大, 排队明显。

(2) 信号调整及渠化

为配合远引, 该交叉口信号控制由四相位变为三相位, 信号周期变为 $T=110$ s。

相位一: 南北直行, 有效绿灯时长 30 s;

相位二: 南北左转, 有效绿灯时长 50 s;

相位三: 东西直行, 同时南北左转车辆进入待转区, 有效绿灯时长 21 s。

在徐东大街与友谊大道交叉口设置蝴蝶领结型掉头远引, 东西进口禁左, 东西方向环岛处掉头车道均为 2 条, 具体布置见图 3。

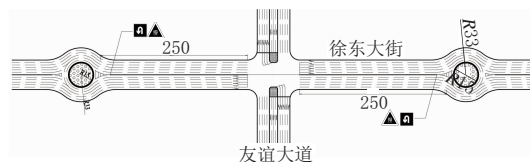


图 3 远引交叉口布局示意图

(3) 几何参数计算

路段设计时速为 60 km/h, 交叉口处车速为路段车速的 1/3, 平均减速度 a 取 1.0 m/s², 由公式(12)可得车道长度须大于 93 m, 根据经验, 取迂回环岛位置为距离主交叉口 250 m 处。

通过式 13 可求出迂回环岛半径为 15 m; 由友谊大道左转需求量, 可根据式 15 求出车道宽度为 3 m。

(4) 通行能力分析

交叉口的原信号周期 $T=124$ s, 平均饱和车头时

距:左转 2.185 s,直行 2.088 s,右转 2.419 s。信号配时采用四相位信号控制方案,如表 3,通过计算总通行能力为 11 333 pcu/h。

改善后周期 $T=110\text{ s}$,信号配时采用三相控制方案。由《城市道路工程设计规范》(CJJ 37—2012)推荐方法,计算结果总通行能力为 14 218 pcu/h,通行能力提高了约 26%。

4 结 论

蝴蝶领结型交叉口通过限制左转车流,实现了两相位信号控制,减少了信号控制延误,同时与传统交叉口相比,蝴蝶领结型交叉口对交叉口车流连续性、运行效率以及行人过街安全性均具有提升效果,体现出左转车辆远引掉头组织方法的优势。蝴蝶领结型交叉口适用于直行车流饱和度较大,而左转交通量较小的交叉口,左转车流量过大,可能会造成环岛掉头处的二次拥堵,增加排队延误,以及可能影

响直行车辆,从而增加主交叉口处整体延误。

参考文献:

[1] 张力. 非矿用自卸车行驶稳定性分析与优化[D].湖南:湖南大学, 2011.

[2] 张卫华,陈靖生,董瑞娟.道路平面交叉口次路远引几何参数设置及通行效率研究[J].土木工程学报,2017,50(10):121-128.

[3] 王磊,张南,刘健国.T 型交叉口支路左转车辆远引掉头组织研究[J].综合运输,2021,43(09):91-97.

[4] 周厚盛,侯习东,李玉芬.基于远引掉头的平面交叉口改善设计——以兰州市交叉口为例[J].甘肃科技,2018,34(16):88-90.

[5] 朱腾洲,邓明君.交叉口移位左转设置方法研究及仿真分析[J].交通信息与安全,2018,36(5):90-98.

[6] 王富,李杰,石永辉.左转远引交叉口交通组织与几何参数研究[J].中国市政工程,2010(2):1-3,74.

[7] Leila Azizi,Abdolreza Sheikholeslami. Safety Effect of U-Turn Conversions in Tehran: Empirical Bayes Observational Before-and-After Study and Crash Prediction Models[J].Journal of Transportation Engineering,2013,139:101-108.

[8] 周巧琪.基于 VISSIM 仿真的非常规信号交叉口设计和控制方法研究[D].安徽:中国科学技术大学,2019.

(上接第 3 页)



图 5 崇礼客运枢纽效果图

赛事公共交通工具的驻站服务功能,以及赛事注册工作人员、场馆志愿者交通换乘接驳功能,赛后作为崇礼的旅游集散中心,对崇礼后奥运经济起到了支撑作用。大型国际赛事客运枢纽的方案设计有较大

的难度和挑战性,既要满足客运枢纽的城市功能和交通功能,又要满足赛事期间枢纽的服务功能和保障功能。该项目作为冬奥会的重要保障设施,其规划设计方案充分体现了“绿色办奥、共享办奥、开放办奥、廉洁办奥”的要求,期望能为类似的大型赛事相关枢纽建设提供借鉴。

参考文献:

[1] 王纪信.大型体育赛事与城市发展研究[J].产业创新研究,2020,39(10):50-51.

[2] 郭淑霞,胡松,王晓伟.大型体育赛事场馆交通设施规划及交通组织:以奥运场馆为例[J].城市交通,2021(4):48-55.

[3] 北京交通发展研究院.崇礼赛区内部交通需求预测及设施规划研究报告[R].北京:北京交通发展研究院,2017.