

文章编号:1671-8879(2009)01-0078-05

远引掉头方式下中央分隔带开口间距

张 宁¹, 陈 恺², 何铁军¹, 黄 卫¹

(1. 东南大学 教育部 ITS 工程研究中心, 江苏 南京 210096;

2. 四川省公路规划勘察设计研究院, 四川 成都 610041)

摘要:确定中央分隔带开口间距,是路口禁左而在下游路段掉头时需要研究的关键问题。借鉴高速公路的相关交织理论,建立了远引掉头方式下中央分隔带开口间距模型,并利用微观仿真法进行评价分析。仿真结果表明:根据建立的间距模型设置远引掉头,相比直接左转能缩短延误约 4.6 s;在相邻路口间距较远、道路设计车速不高的情形下,改善效果尤为明显。

关键词:交通工程;远引掉头;中央分隔带开口;微观仿真

中图分类号:U491 **文献标志码:**A

Median opening space under the condition of indirect left turn

ZHANG Ning¹, CHEN Kai², HE Tie-jun¹, HUANG Wei¹

(1. ITS Engineering Research Center of Ministry of Education, Southeast University, Nanjing

210096, Jiangsu, China; 2. Sichuan Province Research Institute of Highway

Survey and Design, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: Median opening space is a key problem when vehicles' left turn is forbidden and indirect turn must be done at downstream section. Using freeway weaving theory for reference, the median opening spacing model of indirect left turn is developed, and micro-simulation is carried out. It is found that the average delay of indirect left turn with the spacing model is reduced by 4.6 s compared with the direct left turn, and the effect is remarkable when the distance of adjacent intersection is long and the road design speed is not fast. 5 tabs, 4 figs, 14 refs.

Key words: traffic engineering; indirect left turn; median opening; micro-simulation

0 引 言

中央分隔带是主要的交通安全设施之一,具有分隔对向车流、提供设置交通标志等交通辅助设施的空间、提供行人过街庇护空间、绿化和防眩等多种作用^[1-2];更为重要的是,中央分隔带的设计,经常需要与交通组织的措施结合在一起考虑^[3-4]。中央分隔带开口的设置,实际上就是起到引导和控制左转车流的作用。在城市道路上,由于交叉口间距较近、

道路红线宽度不足等多方面原因,禁左以后常选择让左转车流在下游路口掉头,间接实现左转。而在其他用地条件相对宽松的区域,如城郊结合部的公路上,交通量的增加使路口也有采取禁左的必要;为避免绕行距离过远,就有了在路段中设置中央分隔带开口以供掉头的自然构想。中央分隔带路段中的开口设置在何处,距离禁左路口多远的距离为宜,则是中央分隔带设计中的一个关键问题^[5]。美国很多州已制定了中央分隔带开口最小间距的标准^[6-7];

收稿日期:2008-02-10

基金项目:国家自然科学基金项目(50422283);江苏省交通科技项目(05R26)

作者简介:张 宁(1972-),男,新疆伊宁人,副教授,工学博士,E-mail:ningzhang1972@yahoo.com.cn.

Zhou H G(周华国)等建立了基于相位差的理论模型^[8];张宁等在此基础上进行了优化^[9]。本文以高速公路交织理论为基础,建立了中央分隔带开口间距模型,并利用微观仿真方法进行评价,探讨中央分隔带开口间距的规划方法。

1 中央分隔带开口间距规划思路

确定中央分隔带开口间距,要考虑行车效率和行车安全性两方面因素。间距过长,将增加绕行距离,影响禁左与掉头措施的实施效率;间距不足,则对行车安全性不利,转向车流的相互干扰,将加大事故发生的可能性。掉头车辆从进入禁左路口开始,至完成掉头,应经历这样一个过程:进入禁左路口,发现禁左标志,沿下游寻找掉头点,发现下游某处可掉头标志,车辆减速准备掉头,必要时变换车道,行驶至掉头点,等待掉头,最后完成掉头。整个过程有可能在某些环节存在着时间上的重叠,但驾驶人凭借经验,会有助于缩短这一距离^[10]。如偏保守考虑,中央分隔带开口间距至少应包含两段互不重叠的距离:一是车辆进入禁左路口以后,从最外侧车道逐渐交织,变换车道至最里侧车道所需的交织长度;二是完成交织后,减速以及排队等待掉头的缓冲长度(主要是排队长度)。其中,排队长度的计算值具体体现在拓展中央分隔带、设置的掉头专用车道的长度上;而具体值的确定,可以参考一般信控路口转向车道的设置方法,根据转向比例估算。因此,中央分隔带开口间距的规划,关键是交织长度的计算。

交织长度的计算比较复杂,主要与车流运行车速、车流量和道路横断面状况等相关,此外,不同驾驶人的可接受车头时距等微观因素更是难以标定。在美国通行能力手册(highway capacity manual,简称HCM)中,有相关模型可以计算交织长度,尤其是其中的C型交织(图1)与远引掉头中的交织特征是基本相同的,可以借鉴。但考虑到模型适用范围存在一些差异,所以采用微观仿真的方法进行验证,从而评价开口间距规划方法的效果。

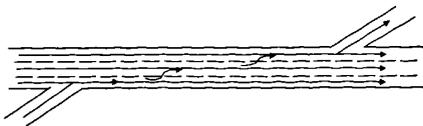


图1 C型交织

2 交织长度理论计算模型

HCM中的计算模型主要适用于高速公路,是

在已知道路几何条件、交织长度、设计车速和交织段各流向的交通量的情况下,计算出交织段的车流密度,进而得到交织段的服务水平^[11]。如果预先定义服务水平,也能反衬交织长度。联立求解以下公式

$$\left. \begin{aligned} W_w &= W_{nw} = \frac{a(1+Q_R)^b(Q/N)^c}{(3.28L_w)^d} \\ V_w &= 10 + \frac{V_{FF} - 2}{1 + W_w} \\ V_{nw} &= 10 + \frac{V_{FF} - 2}{1 + W_{nw}} \\ V &= \frac{Q}{(Q_w/V_w) + (Q_{nw}/V_{nw})} \\ K &= \frac{Q/N}{V} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: W_w 、 W_{nw} 分别为交织车流和非交织车流的交织强度系数; a 、 b 、 c 、 d 均为标定的常数,取值可参考HCM; L_w 为交织长度; N 为交织段内总车道数; Q 为交织段内总交通流率; Q_R 为流量比(交织段内交织流率与总交通流率的比值), $Q_R = Q_w/Q$; Q_w 为交织段内的交织流率; V_w 、 V_{nw} 分别为交织车辆和非交织车辆的平均车速; V_{FF} 为道路设计车速; V 为交织段内的所有车辆平均车速; Q_{nw} 为交织段内的非交织流率; K 为车流密度; L_w 为交织长度。

式(1)实际上由6个独立方程组成,在车流密度已知的情况下,只有6个未知量,即 W_w 、 W_{nw} 、 V_w 、 V_{nw} 、 V 、 L_w ,由此可以直接求解交织长度 L_w ,则中央分隔带开口间距 L' 为

$$L' = L_w + L_Q \quad (2)$$

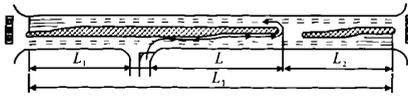
式中: L_Q 为排队长度,可参考信控路口转向车道的设置,根据转向比例估算。

3 实例分析及仿真评价

3.1 模型影响因素分析

从以上分析可看出,交织长度的计算有几个主要的影响因素:道路横断面、交通量、车速和车流密度等。为使实例具有代表性,首先分析如何定义比较典型的外部环境条件,对各影响因素合理取值,必要时可对某些因素选取多水平。

道路环境选择为禁左的T型路口,该路口上下游各有一标准的十字信控路口;主路为双向6车道,支路为双向2车道,如图2(见下页)所示。文中的“主路”和“支路”,并非特指城市道路等级中的主干路和支路,而只是对相交道路等级差异的定性描述。选择T型路口,是为了简化研究环境,消除对侧车流可能造成的干扰;而将上下游信控路口纳入考虑,是



注: L_T 为上下游信控路口间距,为了观察信控路口距离远近的影响,该变量定义两个水平,分别为 1 km 和 3 km; L_1 为禁左路口至上游信控路口间距,对应 L_T 的取值, L_1 分别取值 300 m 和 1 300 m; L 为排队长度与交织长度之和,其中排队长度的计算并非本文的研究重点,在此假定为常数 20 m,交织长度由式(1)计算结果确定; L_2 为左转车辆掉头点至下游信控路口间距,由开口位置确定。

图2 禁左掉头的典型应用环境

因为交织过程中,上下游信控路口的状况将显著影响可插入车头时距。

交通环境的定义包括 3 个因素:设计车速、交通量和车道密度。设计车速由道路等级决定,禁左路口所在主干道一般应至少为二级公路或城市主干道,设计车速可定为 60、80 km/h 两个水平;支路的设计车速影响较小,可以假定为 30 km/h 一个水平。交通量对交织长度的影响较大,道路畅通或饱和时,完成交织所需的距离显著不同。为描述道路的不同状况,根据现有道路横断面,将干路交通量定义为 1 000、2 000、3 000 veh/h 3 个水平,并假设两侧交通量相同,大致可以代表主路交通运行处于畅通流、稳定流和接近非稳定流的不同状况;类似地,将支路交通量定义为 200、400、600 veh/h 3 个水平,并假设其中 50% 将在下游掉头。车道密度对应干路交通量分别设定为 10、20、30 veh/km/车道。由此可得各交通条件下的计算交织长度,如表 1、表 2 所示。

表1 设计车速为 80 km/h 时的计算交织长度

支路流量/ (veh · h ⁻¹)	不同主路流量(veh · h ⁻¹)时的交织长度/m		
	1 000	2 000	3 000
200	80	141	212
400	163	211	283
600	320	307	371

表2 设计车速为 60 km/h 时的计算交织长度

支路流量/ (veh · h ⁻¹)	不同主路流量(veh · h ⁻¹)时的交织长度/m		
	1 000	2 000	3 000
200	197	322	473
400	491	519	662
600	1 343	829	916

当然,这一结果是在假设已知车流密度的情况下,仅仅考虑车辆的交织运行特征得到的计算值,实际应用时考虑的因素会更多。例如,如果考虑给车辆减速提供一定的缓冲,那么交织长度为 80 m 是不够的。另外,对于计算的交织长度过长的情形,由

于 HCM 在计算交织段服务水平时,已经假定了出入匝道的间距超过 750 m 不属于交织的范畴,而认为是两个独立的出入口,因此表 2 中超过 750 m 的交织长度也是不适用的。而作为本文的仿真试验备选方案,还要考虑到,在上下游信控路口相距 1 km 时,禁左路口至下游信控路口的距离仅为 700 m,信控路口本身还应有一定的有效作用区域;从设计车速、左转交通量等条件保守估计,下游信控路口 100 m 范围内不宜设置中央分隔带开口。对于几个交织长度过长的仿真方案,也就是说,缩短交织长度、忍受较低的服务水平,在大流量条件下是无法避免的。这样,对交织长度的部分计算值做必要的调整后,形成如表 3、表 4 所示的修正值。

表3 设计车速为 80 km/h 时的修正交织长度

支路流量/ (veh · h ⁻¹)	不同主路流量(veh · h ⁻¹)时的交织长度/m		
	1 000	2 000	3 000
200	120	141	212
400	163	211	283
600	320	307	371

表4 设计车速为 60 km/h 时的修正交织长度

支路流量/ (veh · h ⁻¹)	不同主路流量(veh · h ⁻¹)时的交织长度/m		
	1 000	2 000	3 000
200	197	322	473
400	491	519	580
600	580	580	580

3.2 仿真建模

在确定了多因素、多水平的仿真条件下进行仿真试验。为了衡量在计算交织长度时车辆掉头对交通的改善效果,另外提出 2 套方案与之比较。一是路口不禁左,允许直接左转;二是路口禁左,但中央分隔带开口选择在相对固定的位置。具体来说,当设计车速为 80 km/h 时,中央分隔带开口距禁左路口 400 m;当设计车速 60 km/h 时,距离 200 m。同时对 3 套方案进行仿真试验,以所有车辆的平均延误作为评价指标,对仿真结果进行比较分析。

根据路网规模,每次仿真时间定为 3 600 s;平行试验次数为 10 次;发车模型选择 K 阶 Erlang 分布,对应流量 1 000、2 000、3 000 veh/h,参数 K 取值为 1、2、3。对于本文仿真研究,有几个较关键的参数,包括临界可接受车头时距、排队车辆的起动车辆损失时间以及不同类型驾驶人变换车道的概率。这些指标的标定,可极大地保证仿真结果的准确性,本文参考了文献[12]中标定的参数。

仿真以包括干路与支路在内的所有车辆的平均

延误为评价指标,并将 3 套方案下的平均延误进行比较。其他更为具体的仿真步骤细节见文献[2, 13]。仿真分别对直接左转和远引掉头的路网建立模型,路网模型的拓扑结构见图 3、图 4。

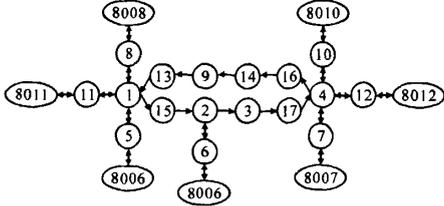


图 3 间接左转拓扑结构

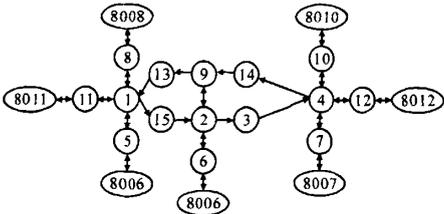


图 4 直接左转拓扑结构

在图 3、图 4 中,8011 和 8012 是主路的交通量发生点,两点对称设置;8008、8005、8009 和 8007 均为节点,是分别与上、下游信控路口相交的支路的交通量发生点,8006 为左转车辆节点。节点 2 为研究的关键节点,即禁左路口;节点 1、4 为禁左路口上、下游的信控路口。图 4 的节点 2 与对侧的节点 9 之间为双向箭头,直接相通,各流向不禁止。图 3 的节点 3 表示中央分隔带开口,掉头车辆在此间接完成左转;节点 2 与节点 3 之间的距离即为包括交织长度和 20 m 排队在内的开口间距。

3.3 数据分析

将所有因素的各个水平一一遍历经过仿真试验,结果如表 5 所示。为了能直观地比较直接左转与间接左转,可将直接左转下的平均延误与对应相同外部条件下禁左掉头时的平均延误相减,这样,凭借差值就可直观地反映不同开口间距对交通运行效率的改善效果。即差值为正,表示间接左转有助于缩减延误;差值为负,表示间接左转反而较直接左转延误有所增加^[14]。3 种比选方案的仿真结果原始数据如表 5 所示。

整理分析数据,可以得到下述结果。

(1)平均延误存在一些数据异常点,即主路流量 2 000 veh/h,支路流量 600 veh/h;主路流量 3 000 veh/h,支路流量 400、600 veh/h。延误显著增加,可以认为此时路口主路优先的控制方式已经不适用于该条件下的交通需求,需要在路口加设信号控制。

表 5 HCM 方法计算的交织长度与其他方案下的平均延误比较

上下游 信控路 口间距/ m	设计 车速/ (km· h ⁻¹)	主路 流量/ (pcu· h ⁻¹)	支路 流量/ (pcu· h ⁻¹)	直接左转 平均延误/ (s·veh ⁻¹)	HCM 方法 平均延误/ (s·veh ⁻¹)	固定开口 间距平均 延误/ (s·veh ⁻¹)	
80	1 000	2 000	200	9.202	1.887	0.809	
			400	12.783	3.053	2.642	
			600	21.444	6.617	7.452	
			200	20.285	5.772	-3.022	
			400	25.271	-0.270	-3.068	
			600	198.507	54.109	59.089	
	3 000	200	28.867	-3.309	-13.832		
		400	162.369	87.533	89.855		
		600	310.678	48.958	33.407		
		1 000	2 000	200	10.365	2.289	2.055
				400	14.487	4.231	4.016
				600	26.555	10.798	10.161
60	200		27.969	2.663	9.650		
	400		39.648	13.952	12.548		
	600		233.143	67.193	52.394		
3 000	200	37.346	-0.962	7.279			
	400	278.604	210.474	195.771			
	600	364.382	92.814	69.337			
	80	1 000	200	10.208	1.631	1.741	
			400	12.783	0.340	1.806	
			600	23.493	8.418	7.807	
2 000		200	21.465	2.645	-1.780		
		400	43.242	9.976	13.691		
		600	223.522	95.439	115.808		
3 000		200	37.627	-1.279	-0.953		
		400	311.070	201.451	234.443		
		600	364.382	128.665	89.881		
3 000		1 000	200	10.163	1.365	1.498	
			400	14.172	3.591	2.754	
			600	26.350	6.505	8.475	
	60	200	27.929	2.860	-0.454		
		400	68.893	26.652	18.242		
		600	247.538	111.012	54.623		
	3 000	200	53.144	1.515	0.858		
		400	386.271	275.232	216.216		
		600	420.116	143.428	31.610		

(2)除去上述数据异常点外,大部分间接左转更能缩减延误。采用固定开口位置的方法,其平均延误低于直接左转的数据点占 75%,平均约减少延误 3.6 s;采用 HCM 方法规划开口位置,平均延误低于直接左转的数据点占 83%,平均约减少延误 4.6 s。

(3)采用 HCM 方法对中央分隔带开口间距进行规划,对交通运行的效率有所改善,其效果在上下

游信控路口距离较远(3 km)和道路限速较低(60 km/h)的情况下更为明显。这是因为此环境下的干线道路交织特征与高速公路的交织特征更为接近。干路较低的设计车速,使得在本没有加减速车道的干线道路上,干路直行通过车辆和支路汇入车辆的速度差异降低,可插入间隙相对增大,驾驶人有较大充裕的空间,能够变换车道逐渐汇入。

(4)服务水平是车道密度的假定比较难以确定而又对最终结果影响较大的因素,这也是HCM方法的一个显著特点。若车道密度假定不当,则计算的交织长度甚至可能不符合实际需要;反之,若道路的历史交通数据比较全面和完整,通过细致地规划可以划定交织段的服务水平,确定一个较为准确的车道密度,则可计算得到较为准确的交织长度值。

4 结 语

(1)从仿真结果看,采用本文方法,将缩短平均延误约4.6 s,改善效果较为显著。

(2)基于高速公路交织理论的方法,在研究交通环境与高速公路相近时的某些场合,更为适用,改善效果也更为显著。

(3)计算结果对前期条件,尤其是车道密度的依赖性,使得本文方法存在一定的局限性。

(4)信号控制交叉口是城市道路的典型特征,后续研究可以考虑结合信号控制对本文的计算方法作优化改进。

参考文献:

References:

- [1] 张宁,陈恺,何铁军,等.城市道路中间分隔带对比分析及设计[J].城市交通,2007,23(4):86-91.
ZHANG Ning, CHEN Kai, HE Tie-jun, et al. Comparative study and design of urban street median[J]. Urban Transport of China, 2007, 23(4): 86-91.
- [2] Chen K, Zhang N, Qian Z D. Median design analysis in the manner of u-turn followed by right-turn[C]// Oiyuan P, Kelvin C, Wang P. Proceedings of the First International Conference on Transportation Engineering 2007. Reston: ASCE, 2007: 352-357.
- [3] 徐珺,邹智军,杨锦冬.中小城市道路平交交通设计[J].长安大学学报:自然科学版,2003,23(4):58-61.
XU Jun, ZOU Zhi-jun, YANG Jin-dong. At-grade intersection design in medium or small urban[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2003, 23(4): 58-61.
- [4] 陈恺,张宁,黄卫.平交路口远引掉头技术应用研究的思考[J].交通运输工程与信息学报,2006,4(4):82-86.
CHEN Kai, ZHANG Ning, HUANG Wei. Considering of the application research of indirect left turn with u-turn at intersection[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2006, 4(4): 82-86.
- [5] 翟忠民.道路交通组织优化[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [6] District Access Management Task Team. Median handbook version 1.1[M]. Tallahassee: Florida Department of Transportation, 2002.
- [7] Committee on Access Management. Access management manual[M]. Washington DC: Transportation Research Board, 2003.
- [8] Zhou H G, Lu J J, Wright J E. Optimal location of u-turn median openings on roadways[C]// TRB. Transportation Research Board 1847. Washington DC: TRB, 2003: 36-41.
- [9] 张宁,陈恺,高朝晖,等.基于微观仿真的远引掉头选址规划方法[J].交通运输工程学报,2008,8(1):78-82.
ZHANG Ning, CHEN Kai, GAO Zhao-hui, et al. Site planning of u-turn followed by right-turn based on microsimulation[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2008, 8(1): 78-82.
- [10] Zhang N, Qian Z D, Zhuo X, et al. Analysis of traffic features in vehicle access roads to large public buildings in the urban area[C]//SATC. Proceedings of the 26th Annual Southern African Transport Conference. Pretoria: Document Transformation Technologies, 2007: 785-793.
- [11] Transportation Research Board. Highway capacity manual 2000[M]. Washington DC: National Academy of Sciences, 2000.
- [12] Yang X K. CORSIM-based simulation approach to evaluation of direct left turn vs. right turn plus u-turn from driveways[D]. Tampa: University of South Florida, 2001.
- [13] 陈恺.基于微观仿真的平交路口远引掉头研究[D].南京:东南大学,2007.
- [14] 徐良杰,王炜.信号交叉口左转非机动车影响分析[J].中国公路学报,2006,19(1):89-92.
XU Liang-jie, WANG Wei. Analysis of influence of left-turn non-motors in signalized intersection[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(1): 89-92.