

# 基于驾驶员行为特性的双层平面 交叉口通行能力研究

陈 军<sup>1,2</sup>, 杨少伟<sup>1</sup>, 周新强<sup>2</sup>

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 西安市政设计研究院有限公司, 陕西 西安 710068)

**摘 要:**通过对交叉口通行能力的主要研究内容、意义、影响因素分析等入手,着重研究了驾驶员的行为特性,指出驾驶员在临界点处具有 3 种行为特性,即,无视可变信息标志的行为,基于可变信息标志的完全行为以及基于可变信息标志的近似行为,并用数学关系对这三种行为规则进行描述.并由此,对上下两层均为十字交叉口型式的双层平面交叉口的通行能力公式进行了推导,为下一步研究和推广双层平面交叉口提供理论依据.

**关键词:**双层平面交叉;临界点;驾驶员;行为特性;通行能力;计算

**中图分类号:**U412.35

**文献标志码:**A

**文章编号:**1006-7930(2012)01-0072-05

根据研究,中国百万人口以上的 15 座城市每天因为城市拥堵而造成的经济损失人民币近 10 亿元.城市拥堵大多由于交叉口的通行能力不足而导致的,城市道路交叉口通行能力的大小已经成为制约一个城市文明、经济快速发展的咽喉要塞,也关乎整个城市道路网的服务水平.

文献[1]提出了双层平面交叉口的概念,指出双层平面交叉口可以根据信息显示屏中指示的信息选择上层或者下层平面交叉口通过,从而达到在交叉口实现连续车流的状态,进而有利于提升交叉口的通行能力;文献[2]对引导车辆行驶的可变信息转换时机进行了研究.本文将着重研究双层平面交叉口的通行能力.

## 1 通行能力的研究内容及意义

交叉口通行能力也称交叉口容量,是指在正常的道路、交通、管制以及运行质量要求下,单位时间内通过交叉口的最大车辆数.交叉口通行能力是城市道路的一种性能,是度量交叉口疏导车辆能力的指标.它既反映了交叉口疏通交通的最大能力,也反映了在规定特性前提下,交叉口所能承担车辆运行的极限值.交叉口通行能力研究的主要内容可分为:如何科学的定义并确定不同情况下的交叉口通行能力的大小;研究交叉口通行能力的影响因素及其影响程度的定量分析;研究不同交通组成及混合行驶条件下交叉口的通行能力.

交叉口通行能力是城市道路交通特征的一个方面,也是一项重要指标.交叉口通行能力的研究对于解决以下课题具有重要意义:

(1)通过对交叉口通行能力的计算分析,可以为交叉口段的路段车道数以及路段渠化提供决策依据;

(2)通过对现有交叉口通行能力的观测、分析、评定,可以为交叉口的改扩建提供依据;

(3)交叉口通行能力可以作为交叉口型式选取的依据,同时也可以作为交通管理、运营、行车组织以及控制方式确定或方案选择的依据;

(4)通过交叉口通行能力的分析计算,可以为城市道路交通规划提供决策依据,并可作为城市立交

修建和选址的依据.

## 2 通行能力的影响因素

城市道路交叉口通行能力的影响因素较多,主要有:道路条件、交通条件、管制条件、环境条件以及气候条件等<sup>[3]</sup>.

道路条件:道路的几何特征,包括车道宽度、附加车道、几何线形、机非是否分隔、交叉口型式、视距、坡度、路面湿滑程度和设计速度等;

交通条件:交通特征,包括交通流的交通组成、交通量以及车道分布、方向分布等;

管制条件:道路管制设施装备的类型、管理体制的层次,交通信号的位置、种类、配时等影响通行能力的关键性管制条件以及其他禁限措施;

环境条件:包括街道化程度、商业化程度、横向干扰、非交通占道、公交车站和停车位置等因素;

气候条件:风、雨、雪、雾、沙尘暴等恶劣天气对通行能力的影响因素.

另外,赫班(Hoban)研究了道路条件对通行能力的影响并出版了专著<sup>[4]</sup>;塞提斯(Satish)和卡玛(Kumar)分析研究了混合交通条件下车道宽度对通行能力的影响<sup>[5]</sup>;易卜拉欣(Ibrahim)和霍尔(Holl)分析了恶劣天气下速度、流量和车道占有率关系的影响<sup>[6]</sup>;香卡(Shankar)和曼拉宁(Mannering)分析了恶劣天气下流量、平均车速和速度变异的关系<sup>[7]</sup>.

## 3 驾驶员行为特性分析

驾驶员的判断过程通常是获取信息、识别信息、确认信息、判断信息以及作出判断这样一个过程. 经过研究分析,驾驶员在临界点处存在着三种规则下的路径选择行为<sup>[8]</sup>,即无视诱导信息下的行为、基于可变信息诱导标志(VMS)下的完全行为以及基于可变信息诱导标志(VMS)下的近似行为,详见图 1.

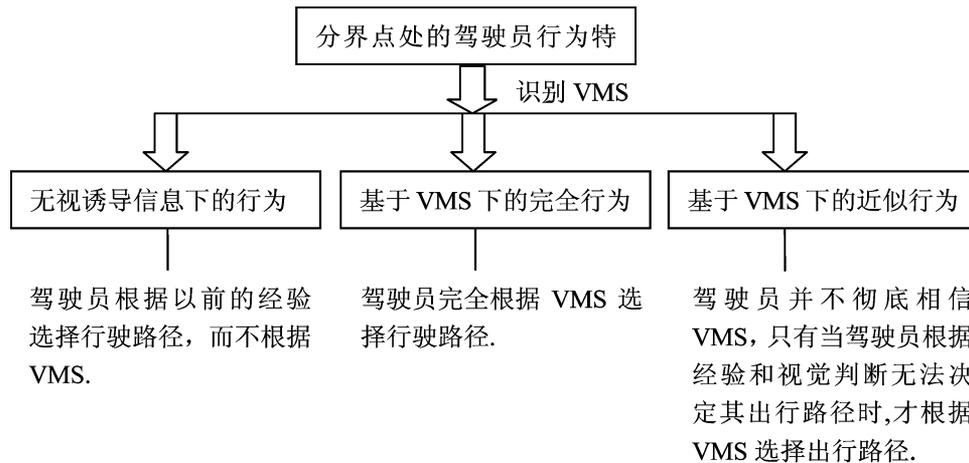


图 1 驾驶员行为流程图

Fig. 1 Driver behavior flow chart

(R-1) 无视可变信息标志的行为:在临界点处,驾驶员通常根据经验和视觉上的感知判断选择出行路径,而无视可变信息诱导标志上的信息. 首先假定由临界点至通过交叉口的距离为  $S$ , 驾驶员选择上层交叉口或下层交叉口分别用“上”和“下”表示, 令  $t$  时段第  $i$  辆车通过交叉口的概率分别为  $\beta_{is}^U(t)$  和  $\beta_{is}^L(t)$ ,  $T_{实}$  表示驾驶员认为车辆从临界点至通过交叉口所要花的时间,  $T_{剩}$  表示下层信号灯所剩绿灯时间, (R-1) 用数学关系表述如下:

$$\begin{cases} \beta_{is}^U(t) = 0 & \beta_{is}^L(t) = 1 & T_{实} \leq t \leq T_{剩} \\ \beta_{is}^U(t) = 1 & \beta_{is}^L(t) = 0 & t < T_{实} \text{ 且 } t > T_{剩} \end{cases} \quad (1)$$

(R-2) 基于可变信息标志的完全行为. 规则认为驾驶员完全信任 VMS, 出行路径完全根据 VMS 进行选择. (R-2) 用数学关系表述如下:

$$\begin{cases} \beta_{is}^L(t) = 0 & \beta_{is}^F(t) = 1 & t \geq T_{\text{实}} \text{ 且 } T_{\text{实}} \leq T_{\text{剩}} \\ \beta_{is}^L(t) = 1 & \beta_{is}^F(t) = 0 & t < T_{\text{实}} \text{ 且 } T_{\text{实}} > T_{\text{剩}} \end{cases} \quad (2)$$

(R-3) 基于可变信息标志的近似行为. 规则认为驾驶员并不彻底相信 VMS, 只有当驾驶员根据经验和视觉判断无法决定其出行路径时才根据 VMS 选择出行路径. (R-3) 用数学关系表述如下:

$$\begin{cases} \beta_{is}^L(t) = 0 & \beta_{is}^F(t) = 1 & t > T_{\text{实}} \text{ 或 } t < T_{\text{剩}} \\ \beta_{is}^L(t) = 1 & \beta_{is}^F(t) = 0 & t < T_{\text{实}} \text{ 或 } t > T_{\text{剩}} \end{cases} \quad (3)$$

由于交织路段的长度和能力有限, 即使驾驶员根据可变信息诱导标志选择了某路径, 其也不一定能够顺利驶入该路径, 为了减少车辆在交织路段的转换, 当一条路径的车流量较大而另一条路径尚有富余时, 驾驶员就有可能放弃既定路径而选择尚有富余的路径, 反之亦然.

文献[2]的研究得出: 如果绿灯时间还剩下  $T$  时, 信息显示屏上的信息发生变化后, 车辆在  $T$  时间内选择通过上层路径正好行驶至上层的停止线, 而此时上层的绿灯开启, 行驶至此处的车辆刚好可以连续通过交叉口, 也就是本文所要研究的交叉口最大通行能力的前提.

#### 4 双层平面交叉口通行能力计算

双层平面交叉口的形式主要有四种, 本文主要研究十字型式(上)+十字型式(下)的双层平面交叉口的通行能力, 并采用两条红线 40 m 宽、双向六车道、机非分隔的断面作为本文的主要研究对象, 由图 2 可以看出, 采取双层平面交叉口后, 上层和下层机动车道皆为双向四车道.

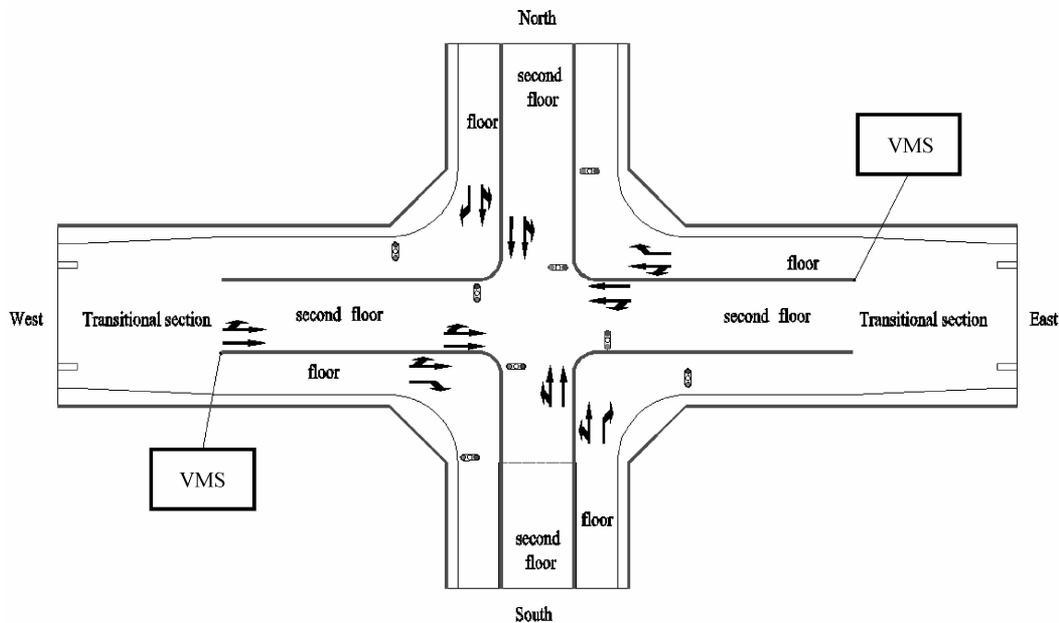


图 2 双层平面交叉示意图

Fig. 2 Schematic drawing of double-crossing

为了研究的方便与结果的一致性, 在上文假定的基础上增加如下补充条件:

- 假定通过交叉口的车流为连续流(绿灯开启时, 车流已在停止线前排队等候通过);
- 假定通行能力的计算是在天气情况以及路面情况良好的状态下进行的;
- 可变信息标志发生变化时的第一辆车直至第  $N$  辆车都将根据信息屏中的信息选择行车路径;
- 假定非机动车及行人过街都采取二次过街的方式, 对机动车通行能力无影响;

若下层东西向绿灯开启, 则下层南北方向为红灯, 进而上层南北方向此时绿灯开启, 本交叉口的通行能力计算为:

下层通行能力计算分为东、西两个进口的通行能力, 皆为一右转车道和一直左车道, 计算如下(绿灯时间内通过的车道数)<sup>[9]</sup>:

$$C_{右} = \frac{T_g - T - T_0}{T_i} + 1 \quad (4)$$

$$C_{直左} = \left( \frac{T_g - T - T_0}{T_i} + 1 \right) (1 - \beta'_1/2) \quad (5)$$

式中:  $T_g$ —下层绿灯时间;  $T_0$ —绿灯开启后,第一辆车通过停止线的时间;  $T_i$ —直行或右转车辆通过停止线的平均时间;  $\beta'_1$ —一条左转车道中左转车所占比例;

即西进口的通行能力 =  $C_{右} + C_{直左}$ ,东进口的通行能力同西进口;

上层南北进口的通行能力计算如下:

$$C_{直} = \frac{T_h - T - T_0}{T_i} + 1 \quad (6)$$

$$C_{直左} = \left( \frac{T_h - T - T_0}{T_i} + 1 \right) (1 - \beta'_1/2) \quad (7)$$

$$T_h = T_{信} - T_g - 3 \quad (8)$$

式中:  $T_{信}$ —信号周期;  $T_h$ —上层绿灯时间(下层红灯时间);

当下层东西信号由绿灯变为红灯,上层南北方向信号由绿灯变为红灯时,东西方向的直行和左转车辆将从上层通过,而南北方向的直行和左转车辆将从下层通过,此时,东西进口通行能力计算如下:

$$C_{右} = \frac{T_h - T}{T_i} + 1 \quad (9)$$

$$C_{直左} = \left( \frac{T_h - T}{T_i} + 1 \right) (1 - \beta'_1/2) \quad (10)$$

东西进口通行能力计算如下:

$$C_{直} = \frac{T_g - T}{T_i} + 1 \quad (11)$$

$$C_{直左} = \left( \frac{T_g - T}{T_i} + 1 \right) (1 - \beta'_1/2) \quad (12)$$

将(4)至(12)式进行相加乘以2即为一个信号周期内通过的车辆数  $Q$  为:

$$Q = 4 \left( \frac{T_{有} - 2T}{T_i} + 2 \right) (2 - \beta'_1/2) \quad (13)$$

式中:

$$T_{有} = T_{信} - T_0 - 3$$

故交叉口的通行能力  $c$  计算公式为:

$$C = 3\,600 \frac{Q}{T_{信}} \quad (14)$$

从式(13)以及式(14)可以看出,当  $T_i$  和  $T_{信}$  一定时,车辆从临界点至停止线所需的时间  $T$  越短,交叉口的通行能力越高.

## 5 结 语

本文在重点分析驾驶员在临界点的行为特性基础上,推导出上层和下层都为十字平面交叉口型式的双层平面交叉口的通行能力的计算公式,为进一步研究双层平面交叉口提供了重要的参考依据.本文提出的通行能力计算公式仅为理想状态下的计算公式,未考虑诸如机动车在交织段的相互干扰以及非机动车、行人、公交停靠站等对其的影响,下一步研究应在此方面逐步完善.

## 参考文献 References

- [1] 陈 军,杨少伟. 双层平面交叉在城市道路交叉口中的应用研究[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版,2010,42(6):846-849.  
CHEN Jun, YANG Shao-wei. Application of the double-crossing in the crossing of urban road[J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech. : Natural Science Edition, 2010,42(6):846-849.
- [2] 陈 军,杨少伟. 双层平面交叉口中的信息转换时机研究[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版,2011,43(3):

- 400-403.
- CHEN Jun, YANG Shao-wei. Study on opportunity of information conversion in the double-crossing [J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech.: Natural Science Edition, 2011, 43(3): 400-403.
- [3] 杨小宝, 王文凯. 道路通行能力研究现状及展望[J]. 中外公路, 2006(4): 217-220.  
YANG Xiao-bao, WANG Wen-kai. Study on actualities and expectation of road traffic capacity[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2006(4): 217-220.
- [4] HOBAN C J. Evaluating traffic capacity and improvements to road geometry[M]. Washington, D. C: World Bank, 1987.
- [5] SATISH C, KUMAR U. Effect of lane width on capacity under mixed traffic conditions in India[J]. Journal of Transportation Engineering, 2003(2): 155-160.
- [6] IBRAHIM A T, HALL F L. Effect of adverse weather conditions on speed—flow—occupancy relationships[J]. Transportation Research Record, 1994(1457): 184-191.
- [7] SHANKAR V, MANNERING F. Modelling the endogeneity of Lane-mean speeds and lane-speed deviations: a structural equations approach[J]. Transportation Research, 1998, 32(5): 311-322.
- [8] 尚华艳, 黄海军, 高自友. 可变信息标志诱导下的路径选择行为[J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29(7): 166-172  
SHANG Hua-yan, HUANG Hai-jun, GAO zi-you. Route choice behavior under guidance of variable message signs [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2009, 29(7): 166-172.
- [9] 王炜, 过秀成. 交通工程学[M]. 南京: 东南大学出版社, 2000.  
WANG Wei, GUO Xiu-cheng. Traffic Engineering[M]. Nanjing: Southeast University Press, 2000.
- [10] 王秋平 谭学龙. 城市道路多交叉口信号协调控制化研究[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2008, 40(3): 429-433.  
WANG Qiu-ping TAN Xue-long. Optimization study on multi-intersection signal coordination control in urban road[J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech.: Natural Science Edition, 2008, 40(3): 429-433.

## Study on traffic capacity of the double-crossing of urban road based on drivers' characteristics

CHEN Jun<sup>1,2</sup>, YANG Shao-wei<sup>1</sup>, ZHOU Xin-qiang<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory for Special Area Highway engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. Xi'an Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710068, China)

**Abstract:** According to the analysis of the main contents, meaning and the effecting factor of traffic capacity of the crossing, the paper studied the behavior characteristics of drivers, and pointing out that drivers have three behavior characteristics, namely, behavior not based on variable message signs, behavior based on variable message signs, behavior not all perfectly based on variable message signs. These are then described with mathematics relation. In addition, a calculation formula of traffic capacity of the double-crossing was built up providing the theory foundation for studying and spreading the double-crossing.

**Key words:** double-crossing; critical point; driver; behavior characteristic; traffic capacity; calculation