

绿灯倒计时信号对驾驶员行为决策的影响

刘岩¹, 丁嘉琦^{1*}, 刘恩杰²

1. 大连交通大学 交通运输工程学院, 辽宁 大连 116028; 2. 国能黄大铁路有限责任公司, 山东 东营 257000

摘要:为探讨绿灯倒计时信号设置的必要性及其对交叉口通行效率和安全的影响,基于行为决策理论,构建绿灯倒计时信号对驾驶员驾驶决策的Logistics模型。分析绿灯倒计时信号对车辆通过停止线时的速度(地点车速)和平均车头时距等车流特性指标的影响,研究车队连续性、地点车速、倒计时显示时间和是否营运车辆4个因素与加速行驶、减速行驶、匀速行驶及停车等不同驾驶决策之间的相关性。结果表明:绿灯倒计时信号交叉口驾驶员选择减速行驶的概率较大;当绿灯倒计时信号剩余时间分别为5、4、3、2 s时,绿灯倒计时信号交叉口驾驶员减速行驶的概率分别为72.65%、67.17%、59.18%、46.44%,远大于无绿灯倒计时信号时的减速行驶概率35%;是否为连续车队、是否为营运车辆与绿灯倒计时信号交叉口的驾驶行为不具有显著相关;绿灯倒计时时间与是否匀速行驶行为显著相关;车辆在距停止线15 m处的地点车速与有、无绿灯倒计时信号交叉口的驾驶行为都显著相关,绿灯倒计时信号交叉口的车辆平均地点车速比无绿灯倒计时信号交叉口低16.7%;绿灯倒计时信号可以约束营运车辆驾驶员的驾驶行为,有利于提升交叉口的通行效率及安全性。

关键词:绿灯倒计时信号;交叉口;驾驶员行为;Logistics模型;通行效率;行车安全

中图分类号:U491.25

文献标志码:A

文章编号:1672-0032(2022)02-0017-08

引用格式:刘岩,丁嘉琦,刘恩杰. 绿灯倒计时信号对驾驶员行为决策的影响[J]. 山东交通学院学报,2022,30(2):17-24.

LIU Yan, DING Jiaqi, LIU Enjie. Influence of green light countdown signal on driver behavior decision[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2022, 30(2): 17-24.

0 引言

倒计时信号是交通控制中的一种常见形式,能够提示驾驶员信号变换的时刻,但同时也容易诱发危险驾驶行为。诸多学者就倒计时信号设置的必要性进行研究并取得了大量的成果,但仍未达成一致的结论。文献[1-4]研究表明,由于驾驶员更加注重通行效率,倒计时信号会增加车辆在接近交叉口时的加速行为;文献[5-9]通过研究车流特性发现,机动车驾驶员、非机动车驾驶员和行人都容易在信号倒计时期间产生赶绿灯或过早启动车辆等不规范行为;董云鹏^[10]通过分析驾驶员心理指出,设置倒计时信号更容易诱发交叉口的危险驾驶行为;文献[11-14]从时间和空间的角度研究指出,倒计时信号对交叉口的通行效率有积极影响;文献[15-21]研究发现,倒计时信号能够减少交通冲突,有利于车辆平稳减速,提升交叉口的安全性;文献[22-24]研究表明,倒计时信号有利有弊,不能同时达到提升交通效率和保证交通安全的目的。

现有研究大部分通过车辆通过停止线时的速度(地点车速)或驾驶行为等单因素对倒计时信号进行评估,但交叉口的驾驶环境中往往包含地点车速、车队是否连续等多种影响因素。本文通过对比分析绿

收稿日期:2021-09-06

第一作者简介:刘岩(1979—),男,黑龙江齐齐哈尔人,副教授,工学博士,主要研究方向为交通控制,E-mail: liuyan7907@djtu.edu.cn。

***通信作者简介:**丁嘉琦(1997—),女,辽宁沈阳人,硕士研究生,主要研究方向为交通安全及控制,E-mail: 961978203@qq.com。

灯倒计时信号和无倒计时信号交叉口驾驶员的行为决策与各影响因素之间的相关性,对绿灯分别倒计时5、4、3、2 s 状态下驾驶员各驾驶行为的概率进行分析,探讨绿灯倒计时信号对交叉口通行效率及安全的影响。

1 车流行驶特性数据采集

为探究驾驶员在不同信号控制条件下的驾驶行为特性,采取有、无绿灯倒计时信号的2种交叉口的车流行驶特性数据,主要包括地点车速、车辆启动时间和车头时距数据等。为保证调查数据的实用性,需选取2条道路条件相似的交叉口作为实地观测地点,其中一个交叉口安装绿灯倒计时信号,另一交叉口不安装绿灯倒计时信号,2个交叉口需具有以下特性:1)交叉口上游有充足的交通需求量,红灯亮起期间排队等待车辆能达到一定的数目;2)绿灯亮起期间,车辆能顺利通过交叉口,不存在交叉口秩序混乱导致的溢流现象;3)红灯亮起期间,停车等待的车辆中小汽车居多,遮挡视野的大型车辆少,非机动车、行人干扰性小;4)交叉口地势平坦,没有明显的坡度和影响视线的障碍。

通过调查和筛选,选择大连市虹港路与圣林街的交叉口作为设置绿灯倒计时信号的研究对象,虹韵路与圣林街的交叉口作为未设置绿灯倒计时信号的研究对象。

本文收集数据采用录像方法,由于车速较快,如果以秒为单位观测时间,观测精度较差,故本文采用以帧为单位观测时间,计算车辆速度。部分信号灯周期存在行人以及非机动车辆的干扰,为了保证数据的可比性,将不符合要求的数据予以剔除。数据采集时,有、无绿灯倒计时信号的交叉口分别从绿灯倒计时信号亮起、绿灯信号灯开始闪烁的时刻开始记录。

2 绿灯倒计时信号交叉口驾驶员行为特性分析

2.1 地点车速的影响

在设置绿灯倒计时信号的交叉口获取1021份有效样本数据,在未设置绿灯倒计时信号的交叉口获取917份有效样本数据。经数据处理可知:未设置绿灯倒计时信号的交叉口平均地点车速为5.22 m/s,绿灯倒计时信号交叉口平均地点车速为4.35 m/s,可见,绿灯倒计时信号交叉口的平均地点车速比无绿灯倒计时信号交叉口低16.7%。2种信号交叉口不同地点车速的比例如表1所示。

由表1可知:地点车速大于8 m/s时,绿灯倒计时信号交叉口通过车辆的比例远小于未设置绿灯倒计时信号的交叉口;地点车速为3~8 m/s时,2种交叉口通过车辆的比例基本相当;地点车速小于3 m/s时,绿灯倒计时信号交叉口通过车辆的比例远大于未设置倒计时信号的交叉口。这是由于驾驶员通过未设置绿灯倒计时信号的交叉口停止线时,无法提前知晓

表1 2种交叉口不同地点车速的比例

地点车速/(m·s ⁻¹)	地点车速比例/%	
	有绿灯倒计时信号	无绿灯倒计时信号
>8	24.15	41.33
3~8	52.08	47.55
<3	23.77	11.12

信号变换时刻,为避免出现遇到红灯而增加延误的情况,通常会采用较高的速度通过停车线。而绿灯倒计时信号为驾驶员提供信号变换的信息,驾驶员通常会采用比较从容的驾驶方式通过停止线。当显示剩余时间较多时,驾驶员可能选择以正常行驶速度通过交叉口,若显示剩余时间较少,驾驶员有可能选择加速通过,也可能选择减速停车,提高了行车安全性。

当地点车速小于3 m/s时,距离绿灯倒计时信号交叉口较近的车辆采用从容的驾驶方式通过停止线,降低了后续车辆的通过速度,减少了以正常速度或高速通过交叉口的车辆,降低了通行效率。无绿灯倒计时信号的交叉口,无论驾驶员距交叉口远近,都希望尽快通过交叉口,地点车速小于3 m/s的比例占总体通过量较少,整体上提升了交叉口的通行效率。

2.2 平均车头时距的影响

有、无绿灯倒计时信号的交叉口车头时距散点图如图1所示。图中圆点表示某一辆车与前车通过某一断面时的时间间隔,即车头时距。

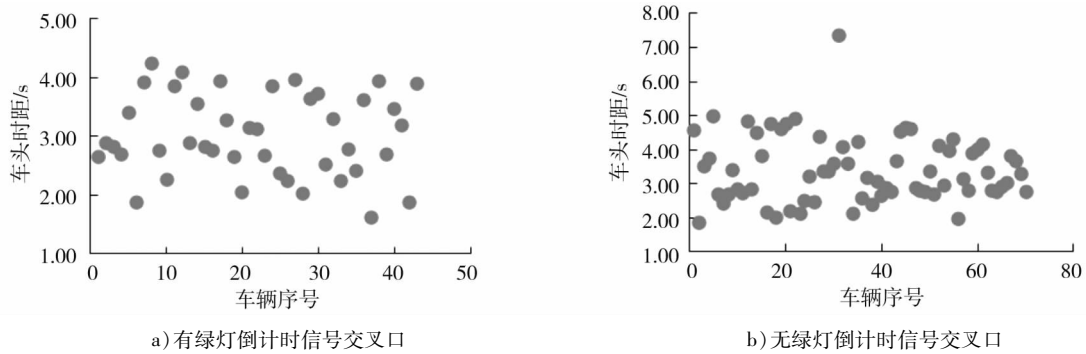


图1 交叉口车头时距散点图

由图1可以看出:绿灯倒计时信号交叉口的车头时距分布相对分散且数值偏小,说明由于绿灯倒计时信号的存在,驾驶员心态相对比较放松,每个车头时距数据都是相对独立的个体,车辆之间很少互相影响,驾驶员行为较稳定。而无绿灯倒计时信号的交叉口,由于驾驶员无法获知信号变换时间,心态较为紧张,车头时距呈现“聚堆”现象,车辆容易互相影响,易发生追尾事故,不利于交叉口的安全。

对排队车辆进行平均车头时距分析,可得出有、无绿灯倒计时信号的交叉口对平均车头时距的影响,结果如图2所示。

由图2可知:绿灯倒计时条件下的车头时距峰值为3.72 s,至第6辆车时,车头时距为2.81 s,之后该值有回升的趋势,回升后开始逐渐下降并缓缓趋于平稳,至第8辆车时基本达到了饱和和车头时距2.50 s。无绿灯倒计时信号交叉口的车头时距先增加后减小,车头时距峰值为3.95 s,第8辆车时仍未达到饱和和车头时距,表明是否设置绿灯倒计时信号对排队车流车头时距有明显影响。

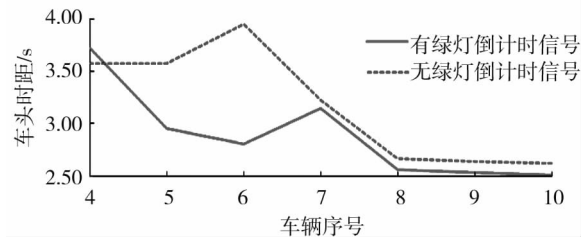


图2 车头时距折线统计

3 信号交叉口驾驶员行为决策模型建立

3.1 驾驶员行为决策产生机理

驾驶员在信号控制交叉口所做的决策属于风险决策。为节省时间,驾驶员希望能在信号变换前通过交叉口,但由于无法预测信号灯的状态和前、后方车辆的驾驶状态等环境因素,在进入交叉口后存在与对向车辆发生碰撞的风险,因此驾驶员要在合理判定后,再决定驾驶行为,特别是在黄灯亮起的时间内,车辆处于不确定状态,可能通过也可能停车,驾驶员需要一定的加速或减速响应时间、刹车时间等,不同的驾驶员会做出不同的决定。在此过程中所做的决定将会保存在驾驶员的记忆中,影响其在下一个交叉口驾驶行为的决定^[25-26]。

3.2 建立行为决策模型

3.2.1 模型结构

结合行为决策产生机理与绿灯倒计时交叉口驾驶员的行为,本文把加速行驶、减速行驶、匀速行驶、停车作为驾驶员通过交叉口的驾驶行为,收集地点车速、绿灯倒计时信号剩余时间、距离停止线距离等数据,建立驾驶行为决策模型。通过该模型分析道路交通信息与驾驶员行为之间的关系,找出影响驾驶行为的主要因素。

选择 Logistic 模型寻找不同驾驶行为的主要影响因素和相关性,预测绿灯倒计时 5、4、3、2 s 及无绿灯倒计时信号情况下发生各驾驶行为的概率。设以选择枝加速行驶、减速行驶、匀速行驶、停车中的停车行为为参照类,此时 Logistic 模型为:

$$\ln\left(\frac{P_i}{P_4}\right) = a_i + \sum_{k=1}^n b_k x_k, \quad (1)$$

式中: $\ln(P_i/P_4)$ 为第 i 个选择枝第 k 种影响因素的效用函数, P_i 为各驾驶行为的概率, P_4 为停车行为的概率, x_k 为交叉口交通环境内可观测到的影响驾驶员驾驶行为决策的因素, a_i 和 b_k 为待估计系数。

3.2.2 影响因素 x_k 的确定

驾驶员在交叉口的驾驶行为决策由自身车辆因素、道路中其他车辆、道路环境以及驾驶员自身因素决定。因此选取是否为连续车队 x_1 、绿灯倒计时信号剩余时间 x_2 、是否绿灯闪烁 x_2' 、驾驶人在距离停止线 15 m 处的地点车速 x_3 (受试验条件限制,距离停止线的可观察距离取 15 m)、是否营运车辆 x_4 (由于驾驶员自身因素较为主观,没有直接数据可以使用,因此本文选择是否是营运车辆这一影响因素侧面反映倒计时信号对不同驾驶状态下的行为决策影响)等影响驾驶员决策的因素,通过这些影响因素判断驾驶员在交叉口处的驾驶行为差异。

本文从车辆加速行驶、减速行驶、匀速行驶、停车 4 种车辆状态来体现驾驶员的决策差异性。表 2、3 为有、无绿灯倒计时信号交叉口的部分观测数据。表 2、3“车辆状态”栏中的数字 1、2、3 分别表示加速、减速、匀速,第 x_1 、 x_2' 、 x_4 栏中的数字 1、0 分别表示是、否。

表 2 绿灯倒计时信号交叉口的部分观测数据

车辆序号	x_1	x_2/s	$x_3/(m \cdot s^{-1})$	x_4	车辆状态	车辆序号	x_1	x_2/s	$x_3/(m \cdot s^{-1})$	x_4	车辆状态
1	1	22	3.57	0	1	5	1	8	2.63	0	1
2	1	21	3.12	0		6	1	4	3.57	0	
3	0	13	2.08	0		7	1	2	4.16	1	
4	1	11	3.84	1		8	1	1	7.14	0	

表 3 无绿灯倒计时信号交叉口的部分观测数据

车辆序号	x_1	x_2'	$x_3/(m \cdot s^{-1})$	x_4	车辆状态	车辆序号	x_1	x_2'	$x_3/(m \cdot s^{-1})$	x_4	车辆状态
1	1	0	3.40	0	1	4	1	0	7.03	1	2
2	0	0	6.61	1	1	5	1	0	7.25	0	3
3	0	0	5.76	0	2	6	0	1	10.22	0	2

3.2.3 参数估计结果

采用 SPSS 软件进行模型求解,求解过程中,使用 t 检验进行 x_1 、 x_2 、 x_2' 、 x_3 、 x_4 对驾驶行为影响的显著性检验,置信水平为 95%。

将表 2、3 中的观测数据输入到 SPSS 软件中,得到驾驶员做出不同驾驶决策(加速行驶、减速行驶、匀速行驶、停车)的概率 P_{sig} , $P_{sig} > 0.05$ 表示自变量与因变量不具有显著性相关, $P_{sig} \leq 0.05$ 则表示具有显著性相关。

车辆通过 2 种信号交叉口的参数估计结果及驾驶员不同驾驶决策的概率如表 4、5 所示。

表 4 绿灯倒计时信号交叉口的 b_k 及 P_{sig}

影响因素	b_k			P_{sig}		
	加速	减速	匀速	加速	减速	匀速
a_i	-0.299	-4.727	-4.850	0.640	0	0
x_1	-0.582	0.814	0.092	0.085	0.068	0.835
x_2	-0.084	0.184	0.390	0.315	0.073	0
x_3	0.230	0.583	0.467	0.012	0	0
x_4	0.513	-0.459	0.032	0.107	0.303	0.940

3.2.4 相关性对比分析

由表4、5可知:

1) x_1 与绿灯倒计时信号中的驾驶行为不具有显著性相关,与无绿灯倒计时信号中的驾驶行为具有显著性相关。这是因为有绿灯倒计时信号时驾驶员通过判断剩余时间可以直接决定驾驶行为,后车可以超越前车;而无绿灯倒计时信号情况下,驾驶员不知道交叉口信号变换时刻,更多的是跟随从众心理,后车超越前车的几率变小。

2) x_2 只与匀速行为显著性相关,这是由于驾驶员通过对倒计时信号的分析,及时调整驾驶行为,不会在交叉口突然加、减速,而是保持匀速行驶。 x_2' 与3种驾驶行为都不具有显著性相关,这是由于在无绿灯倒计时信号的交叉口,驾驶员由于不知晓信号变换的时刻,驾驶行为更多与驾驶员本人性格相关。

3) x_3 与2种交叉口都显著性相关,这是由于此时距离交叉口较近,无论是否能够通过交叉口,驾驶员都会根据此时的车速相应调整驾驶行为。

4) x_4 与绿灯倒计时信号中的驾驶行为不具有显著性相关,与无绿灯倒计时信号中的驾驶行为具有显著性相关,这是因为无绿灯倒计时信号交叉口的营运车辆驾驶员凭借经验调整驾驶行为,但绿灯倒计时信号交叉口驾驶员更多的是凭借绿灯倒计时信号调整驾驶行为。这与通常人们认为的出租车司机在交叉口绿灯倒计时信号快结束时加速通过交叉口的现象不相一致。

表5 无绿灯倒计时信号交叉口的 b_k 及 P_{sig}

影响因素	b_k			P_{sig}		
	加速	减速	匀速	加速	减速	匀速
a_i	-13.936	-15.698	-14.195	0	0	
x_1	-5.831	-26.277	-5.376	0		0
x_2'	-0.579	-0.064	-0.661	0.278	0.911	0.221
x_3	2.501	2.612	2.539	0	0	0
x_4	-1.891	-1.875	-2.277	0.007	0.009	0.001

3.2.5 计算结果与分析

将表4、5中各估计参数代入式(1),得到2种交叉口的 Logistic 模型。

绿灯倒计时信号交叉口的 Logistic 模型:

$$\begin{cases} \ln(P_1/P_4) = -0.299 - 0.582x_1 - 0.084x_2 + 0.230x_3 + 0.513x_4 \\ \ln(P_2/P_4) = -4.727 + 0.814x_1 + 0.184x_2 + 0.583x_3 - 0.459x_4, \\ \ln(P_3/P_4) = -4.850 + 0.092x_1 + 0.390x_2 + 0.467x_3 + 0.032x_4 \end{cases} \quad (2)$$

式中: $P_1 \sim P_4$ 分别为驾驶员加速、减速、匀速及停车4种驾驶行为的概率。

无绿灯倒计时信号交叉口的 Logistic 模型:

$$\begin{cases} \ln(P_1/P_4) = -13.936 - 5.831x_1 - 0.579x_2' + 2.501x_3 - 1.981x_4 \\ \ln(P_2/P_4) = -15.698 - 26.277x_1 - 0.064x_2' + 2.612x_3 - 1.875x_4。 \\ \ln(P_3/P_4) = -14.195 - 5.376x_1 - 0.661x_2' + 2.539x_3 - 2.277x_4 \end{cases} \quad (3)$$

根据实测车辆的地点车速5 m/s,分别设 x_2 为5、4、3、2 s 和无绿灯倒计时信号,将各参数带入式(2)(3)计算 P_1/P_4 、 P_2/P_4 、 P_3/P_4 的值,因 $P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 100\%$,故求得驾驶员各驾驶行为决策的概率 $P_1 \sim P_4$,如表6所示。

表6 各驾驶行为决策的概率

x_1	x_2/s	$x_3/(m \cdot s^{-1})$	x_4	P_1	P_2	P_3	P_4
1	5	5	0	0.01	0.726 5	0.26	0
1	4	5	1	0.02	0.671 7	0.29	0
1	3	5	0	0.07	0.591 8	0.31	0.01
1	2	5	0	0.16	0.464 4	0.30	0.06
0	无绿灯倒计时信号	5	0	0.19	0.350 0	0.46	0

由表6可知:绿灯倒计时信号交叉口,驾驶员选择减速行驶的概率较大;无绿灯倒计时信号的交叉口,大部分驾驶员选择匀速行驶。

绿灯倒计时信号显示分别为5、4、3、2 s时,车辆减速行驶的概率分别为72.65%、67.17%、59.18%和46.44%,远大于无倒计时信号时减速行驶的概率35.00%,说明绿灯倒计时信号可以提示驾驶员减速,提升交叉口的安全性;绿灯倒计时信号交叉口车辆加速行为的概率较无绿灯倒计时信号交叉口小,停车行为的概率较无绿灯倒计时信号交叉口大,倒计时显示为2 s时,加速行为和停车行为的概率都突然增大,这是由于此时的驾驶员决策受自身个性影响较大。整体看来,绿灯倒计时信号对交叉口驾驶的安全性以及通行效率有一定的积极作用。

4 结论

1) 绿灯倒计时交叉口,驾驶员选择减速行驶的概率较大;而无绿灯倒计时信号的交叉口,大部分驾驶员选择匀速行驶。当绿灯倒计时显示时间大于2 s时,驾驶员减速行驶的概率远大于无绿灯倒计时信号时的概率。

2) 是否连续车队与绿灯倒计时信号中的驾驶行为不显著性相关,与无绿灯倒计时信号中的驾驶行为具有显著性相关。倒计时显示时间只与匀速行驶显著性相关;车辆在距停止线15 m处的地点车速与有无绿灯倒计时信号都显著相关;是否为营运车辆与绿灯倒计时信号交叉口的驾驶行为不显著性相关,与无绿灯倒计时信号中的驾驶行为显著性相关。

3) 驾驶员的驾驶行为不仅受到倒计时信号的外部影响,也受到心理和生理的影响。在后续研究中,可以通过借助一些更先进的仪器观测驾驶员生理和心理的数据,对比分析有、无绿灯倒计时信号交叉口驾驶员生理、心理的变化规律,得到绿灯倒计时信号对驾驶员驾驶行为影响的理论依据。

参考文献:

- [1] ALMUTAIRI O, WEI H. Effect of speed/red-light cameras and traffic signal countdown timers on dilemma zone determination at pre-timed signalized intersections[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2021, 154: 106076.
- [2] 曹弋, 杨忠振, 左忠义. 绿灯倒计时信号对驾驶行为的影响[J]. *中国安全科学学报*, 2015(2): 77-82.
CAO Yi, YANG Zhongzhen, ZUO Zhongyi. Influence of green light countdown signal on driving behavior[J]. *China Safety Science Journal*, 2015(2): 77-82.
- [3] 刘丹. 基于T型交叉路口的倒计时信号灯分析[J]. *汽车实用技术*, 2020, 45(18): 230-232.
LIU Dan. Analysis of countdown traffic lights based on T-shaped intersection[J]. *Automobile Applied Technology*, 2020, 45(18): 230-232.
- [4] 李贝. 基于实测数据的信控交叉口进口道驾驶行为特性分析及建模[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2016.
LI Bei. Analysis and modeling of the driving behavior characteristics of the signal intersection entrance lanes based on the measured data[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2016.
- [5] CHEN P L, PAI C W, JOU R C, et al. Exploring motorcycle red-light violation in response to pedestrian green signal countdown device[J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2015, 75: 128-136.
- [6] 潘福全, 张丽霞, 刘涛, 等. 考虑车辆价值的倒计时信号交叉口驾驶员驾驶行为建模[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2016, 16(2): 64-69.
PAN Fuquan, ZHANG Lixia, LIU Tao, et al. Modeling of driving behaviors at countdown signalized intersections considering the value of car[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information*, 2016, 16(2): 64-69.
- [7] 潘福全, 董云鹏, 张丽霞, 等. 倒计时信号交叉口赶绿灯行为建模与分析[J]. *中国安全科学学报*, 2015, 25(7): 147-152.
PAN Fuquan, DONG Yunpeng, ZHANG Lixia, et al. Analysis and modeling of behavior of catching green signal at countdown signalized intersections[J]. *China Safety Science Journal*, 2015, 25(7): 147-152.
- [8] FU Lianning, ZOU Nan. The influence of pedestrian countdown signals on children's crossing behavior at school intersections

- [J]. *Accident Analysis and Prevention*,2016,94:73-79.
- [9]付川云,张亚平,廉冠,等. 有无倒计时条件下黄灯第二类困境区域分布[J]. *交通信息与安全*, 2015, 33(4):32-36.
FU Chuanyun,ZHANG Yaping,LIAN Guan, et al. Effects of countdown timer on the type II dilemma zones[J]. *Traffic Information and Safety*,2015,33(4):32-36.
- [10]董云鹏. 基于心理及行为的倒计时信号对交通安全的影响机理研究[D]. 青岛:青岛理工大学,2015.
DONG Yunpeng. Mechanism of countdown signal's influence on traffic safety based on psychology and behavior[D]. Qingdao:Qingdao University of Technology,2015.
- [11]彭汉辉,张存保,石永辉,等. 红灯倒计时对交叉口车辆驶离时间的影响研究[J]. *武汉理工大学学报(交通科学与工程版)*,2016,40(3):540-543.
PENG Hanhui,ZHANG Cunbao,SHI Yonghui, et al. Effects of red signals countdown vehicle clearance time at intersection [J]. *Journal of Wuhan University of Technology (Traffic Science and Engineering)*,2016,40(3):540-543.
- [12]许伦辉,伍帅,胡三根. 倒计时交通信号对交叉口车流特性的影响[J]. *公路工程*,2016,41(1):64-69.
XU Lunhui, WU Shuai, HU Sangen. Effects of signal countdown on traffic flow at intersection[J]. *Highway Engineering*, 2016,41(1):64-69.
- [13]郑天宇,杨小宝,李行,等. 倒计时信号对间接接受行为的影响分析[J]. *综合运输*,2020,42(3):73-79.
ZHENG Tianyu,YANG Xiaobao, LI Hang, et al. Study on the gap acceptance behavior under the countdown signal[J]. *China Transportation Review*,2020,42(3):73-79.
- [14]熊聆利. 倒计时信号交叉口行人过街特性研究[D]. 北京:北京理工大学,2015.
XIONG Lingli. Study on the characteristics of pedestrians at countdown pedestrian signalized intersections [D]. Beijing: Beijing Institute of Technology,2015.
- [15]PAUL M, GHOSH I. Influence of green signal countdown timer on severe crash types at signalized intersections due to red light violations[J]. *Transportation Letters the International Journal of Transportation Research*,2019,12(5):1-12.
- [16]BOATENG R A, KWIGIZILE V, MILLER J S, et al. A justification for pedestrian countdown signals at signalized intersections: the safety impact on senior motorists[J]. *Journal of Transport & Health*,2019,14(10):37-43.
- [17]黄明霞,张海强,许泽恩,等. 冬夏绿灯倒计时信号下停止或通过决策的差异性分析[J]. *交通信息与安全*,2019,37(5):63-70.
HUANG Mingxia,ZHANG Haiqiang,XU Zeen, et al. An analysis of differences of stopping or passing decision under green countdown signal in winter and summer[J]. *Journal of Transport Information and Safety*,2019,37(5):63-70.
- [18]KITALI A E, SANDO P E T. A full Bayesian approach to appraise the safety effects of pedestrian countdown signals to drivers[J]. *Accident Analysis and Prevention*,2017,106:327-335.
- [19]ISLAM M R, HURWITZ D S, MACUGA K L. Improved driver responses at intersections with red signal countdown timers [J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*,2016,63:207-221.
- [20]王可飞. 倒计时信号灯对非机动车穿越行为的影响分析[D]. 北京:北京交通大学,2017.
WANG Kefei. Impact analysis of countdown signal on the crossing behavior of non-motorvehicles [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University,2017.
- [21]YU Shaowei,SHI Zhongke. Analysis of car-following behaviors considering the green signal countdown device[J]. *Nonlinear Dynamics*,2015,82(1):1-10.
- [22]YU Ruikang,ZHAO Hui,ZHANG Cuiping, et al. Analysis of risk-taking behaviors of electric bicycle riders in response to pedestrian countdown signal devices[J]. *Traffic Injury Prevention*,2019,20(2):182-188.
- [23]BISWAS S, GHOSH I, CHANDRA S. Influence of signal countdown timer on efficiency and safety at signalized intersections [J]. *Canadian Journal of Civil Engineering*,2017,44(4):308-318.
- [24]邹慧. 倒计时信号对信号交叉口交通特性的影响[J]. *山东交通学院学报*,2016,24(2):8-11.
ZOU Hui. Effect of countdown signal on traffic characteristics at signalized intersection [J]. *Journal of Shandong Jiaotong University*,2016,24(2):8-11.
- [25]陈晓晨. 驾驶决策的特征及其影响因素研究[D]. 大连:辽宁师范大学,2013.
CHEN Xiaochen. The study of driving decision: making on characteristics and influencing factors [D]. Dalian: Liaoning Normal University,2013.

[26] 江泽浩, 杨晓光, 汪涛. 绿灯倒计时影响下机动车微观驾驶行为分析与决策建模[J]. 交通运输系统工程与信息, 2018, 18(2): 66-72.

JIANG Zehao, YANG Xiaoguang, WANG Tao. Analysis of microscopic driving behavior and modeling of decision-making effected by green signal countdown[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2018, 18(2): 66-72.

Influence of green light countdown signal on driver behavior decision

LIU Yan¹, DING Jiaqi^{1}, LIU Enjie²*

1. School of Transportation Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China;

2. CHN Energy Huangda Railway Co., Ltd., Dongying 257000, China

Abstract: In order to discuss the necessity of green light countdown and its influence on traffic efficiency and safety at intersections, based on behavioral decision theory, the Logistics model of green light countdown signal affects on driver's driving decision was constructed. The influence of green light countdown signal on the speed of the passing is analyzed through the stop line (location speed) and the average time headway, the correlation between the four factors (fleet continuity, location speed, the display time of countdown, vehicle types) and the four decisions (constant speed, accelerating, decelerating, stopping) have been studied. The results show that large proportion of drivers choose to decelerate at the intersection with green countdown signal. When the remaining time of green countdown signal is 5, 4, 3 and 2 s respectively, the proportion of drivers decelerating at the intersection with green countdown signal is 72.65%, 67.17%, 59.18% and 46.44% respectively, which is much higher than the proportion of decelerating at the intersection without green countdown signal, 35%. There is no significant correlation between continuous fleet (or operating vehicles) and driving behavior at green countdown signal intersection. Green countdown time is significantly related to driver's behavior (especially if the driver is good at driving constantly); whether there is a green countdown signal or not has strong correlation with the driver's behavior of controlling the vehicle speed at 15 m away from the stop line. The ratio of average vehicle speed at intersections with green countdown signal is 16.7% lower than that at intersections without green countdown signal. The green countdown signal can restrain the driving behavior of operating vehicle drivers, which can improve the efficiency and safety at intersections.

Keywords: green light countdown signal; intersection; driver's behavior; Logistics model; traffic efficiency; traffic safety

(责任编辑: 杨秀红)