

文章编号:1005-0523(2015)04-0052-05

# 信号交叉口驾驶员行为博弈分析

黄选伟<sup>1</sup>,汪晶<sup>1</sup>,张邻<sup>2</sup>

(1. 南昌工学院民族教育学院,江西 南昌 330108;2. 南昌航空大学数学与信息科学学院,江西 南昌 330063)

**摘要:**为了研究车辆通过信号交叉口时的驾驶员决策行为,从博弈角度出发,根据影响驾驶员决策行为的性格因素,以及不同策略之间的势因素,通过时间细化,建立基于重复博弈下影响驾驶员决策行为的效用函数。通过驾驶员在行进过程中的决策行为,分析驾驶员获得的效用,得到动态博弈中驾驶员的最优决策。同时通过实例验证模型的可行性。例证表明:第一,对于冲动型的驾驶员在决策初始时刻最可能选择减速策略;第二,温和型的驾驶员选择加速或减速策略;第三,谨慎型的驾驶员选择减速策略。

**关键词:**信号交叉口;重复博弈;交通冲突;最优决策

**中图分类号:**U491

**文献标志码:**A

交叉口是城市道路网络的结点,起着转换和协调交通流的重要作用<sup>[1]</sup>,如果运行不良则会影响整个交通系统的运行。随着城市化进程的加快,信号交叉口在整个网络交通控制中占住重要地位,而在绿灯结束期间,机动车驾驶员通过交叉口时的决策行为,直接影响着交叉口的交通安全,降低了路网的通行效率,因此研究绿灯结束期间驾驶员的决策行为,具有重要的现实意义。

国内外许多学者对驾驶员行为决策进行了研究<sup>[2-4]</sup>。Mutat Demir等<sup>[5]</sup>提出了一种驾驶模拟器为不同性格的驾驶员提供模拟驾驶环境,建立了驾驶员的行为模型,这能让驾驶员在一个安全的环境中练习驾驶,减少交通事故的发生;但是文中没有结合驾驶员的行为模型来评估驾驶模拟器的有效性,且驾驶模拟和现实的交通环境还存在很大差别。吴文静等<sup>[6]</sup>从驾驶员心理角度出发,分析驾驶员在交叉口处的决策过程,综合驾驶员行为的影响因素,在对交叉口数据采集和分析的基础上,运用Logistic模型建立了在倒计时信号交叉口驾驶员决策行为模型。龙科军等<sup>[7]</sup>利用视频采集数据研究黄灯期间驾驶员决策行为,运用Logistic回归构建了驾驶员行为模型。这些模型将冲突车辆间驾驶员的决策行为均简化为“单次决策”,不能准确的刻画交叉口冲突车辆间驾驶员复杂的心理过程,忽略了冲突车辆间驾驶员决策行为的相互影响。刘小明等<sup>[8]</sup>虽然从更小时空尺度考虑无信号交叉口驾驶员超车行为,并建立了基于博弈论<sup>[9]</sup>的无信号交叉口驾驶员的决策行为模型,分析了不同驾驶员类型组合在超车博弈过程中的Nash均衡,及相应的驾驶员行为,但是将驾驶员行为的决策简化为加速、减速2种,不够全面。

首先对交叉口驾驶员决策行为进行多时间段分析,考虑驾驶员性格因素,以及不同策略之间相对势因素,然后结合车辆到达停车线的时间与黄灯剩余时间的时间差,建立基于动态重复博弈的驾驶员决策行为模型,通过驾驶员在行进过程中的决策行为,分析驾驶员获得的效用,得到动态博弈中驾驶员的最优决策。

## 1 驾驶员决策行为分析

车辆通过信号交叉路口遇到黄灯亮时,若车辆已经越过停车线可以继续前进,若车辆未越过停车线应

收稿日期:2015-03-15

基金项目:国家自然科学基金(51368046;71161005)

作者简介:黄选伟(1989—),男,助教,研究方向为最优化理论。

当停车;因此,车辆通过信号交叉口时,驾驶员需要判断车辆能否在黄灯亮之前越过停车线。如果判断失误,就会引起交通冲突,甚至造成交通事故;所以,在黄灯灯亮之前,驾驶员首先应判断车辆所处的状态以及预测到停车线的距离,然后通过加速、匀速、减速3种策略使车辆安全、快速地通过信号交叉口。

为了准确的描述驾驶员的决策行为,引入临界通过最大距离与临界停车最短距离,临界最大通过距离指的是驾驶员观察到红绿灯显示器时,车辆行驶的最大距离  $l_1$ ,可由下式表示。

$$l_1 = v_0 t_y + a_{+\max} t_y^2 / 2 \quad (1)$$

式中:  $v_0$  为车辆的速度,  $t_y$  为绿灯剩余时间,  $a_{+\max}$  为车辆的最大加速度。

临界最短停车距离指的是黄灯开始时,车辆安全停车的最短距离  $l_2$ ,可由下式表示

$$l_2 = v_0(t_f + t_j) + v_0^2 / 2a_{-\max} \quad (2)$$

式中:  $t_j$  为驾驶员的操作时间,  $t_f$  为驾驶员的反应时间,  $a_{-\max}$  为车辆的最大减速度。

图1所示为一双向6车道信号交叉口,N代表北,S代表南,W代表西,E代表东。对于直行车流,假设交叉口视野无遮挡,N→S方向有一个车辆  $C_1$  且到停车线的距离为  $L$ ,速度和加速度分别为  $v_0$  和  $a_0$ 。

分析  $l_1$ 、 $l_2$ 、 $L$  的大小关系,确定  $C_1$  所处的状态,当  $l_1 \leq l_2$  时,若  $L < l_1$ ,由于车辆不能安全停车,  $C_1$  能在红灯灯亮之前安全、快速地通过交叉路口;若  $l_1 \leq L \leq l_2$ ,  $C_1$  不能安全通过交叉路口且不能安全停车;若  $L \geq l_2$ ,由于车辆不能闯黄灯,  $C_1$  必须减速停车;当  $l_1 > l_2$  时,若  $L < l_2$ ,  $C_1$  不能安全通过交叉路口且不能安全停车;若  $L \geq l_2$ ,  $C_1$  必须减速停车。

在现实生活中,车辆通过信号交叉口的情况十分复杂,驾驶员在驾驶过程中具有复杂的心理过程,为了能安全、尽快地通过信号交叉口,驾驶员必须进行一系列的决策。

令  $C_1$  到停车线的距离为  $L$  的时刻为  $t_0$  且绿灯亮了  $t$  秒,则绿灯剩余时间  $t_s = t_y - t$ ,  $C_1$  通过停车线的时刻为  $t_n$ ,将  $t_0 \rightarrow t_n$  时段等分成  $n$  份,即  $[t_0, t_1], [t_1, t_2], \dots, [t_{n-1}, t_n]$ ,车辆  $C_1$  为了安全尽快地通过交叉口,  $C_1$  的驾驶员在每一小时段的开始进行加速,匀速,减速决策。假设  $[t_{i-1}, t_i]$  小时段内  $C_1$  的加速度为  $a_i$  ( $i=1,2,3,\dots,n$ ) 且在每一小时段内车辆的加速度是恒定的,则  $C_1$  在  $t_i$  时刻的速度  $v_i$  为

$$v_i = v_0 + a_1 \Delta t + a_2 \Delta t + \dots + a_n \Delta t \quad (3)$$

式中:  $\Delta t$  为每一小时段的时间长度;  $a_i$  为每一小时段的加速度,  $i=1,2,3,\dots,n$ 。

$t_i$  时刻,绿灯剩余时间  $t_s^i$  为

$$t_s^i = t_y - i \Delta t - t \quad (4)$$

由式(3)与式(4)得出  $C_1$  在  $t_0 \rightarrow t_i$  时段内行驶的路程  $S_i$ ,以及  $C_1$  在  $t_i$  时刻到停车线的距离  $L_i$ ,  $C_1$  在  $t_i$  时刻的临界通过最大距离  $l_1^i$  与临界停车最短距离  $l_2^i$

$$\begin{cases} S_i = v_0 \Delta t + \frac{1}{2} a_0 \Delta t^2 + \dots + v \Delta t + \frac{1}{2} a_{i-1} \Delta t^2 \\ L_i = L - S_i \\ l_1^i = v_i t_s^i + \frac{1}{2} a_{+\max} (t_s^i)^2 \\ l_2^i = v_i(t_f + t_j) + v_i^2 / 2a_{-\max} \end{cases} \quad (5)$$

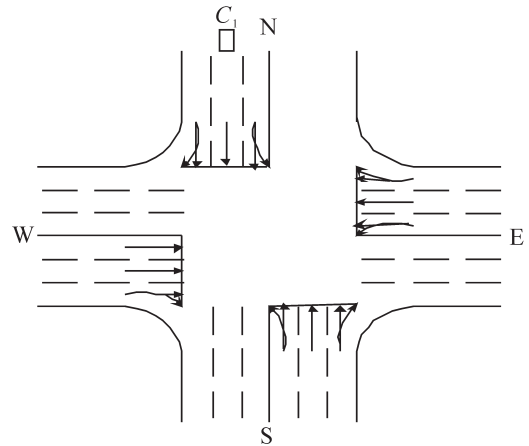


图1 信号交叉口示意图

Fig.1 Diagram of signalized intersection

又由  $v_i T_i + \frac{1}{2} a_i T_i^2 = L_i$ ,  $C_i$  以  $t_i$  时刻的速度、加速度到达停车线的时间  $T_i$  为

$$T_i = \frac{-v_i \pm \sqrt{v_i^2 + 2a_i L_i}}{a_i} \quad (6)$$

由式(5)与式(6)可知,  $t_i$  时刻,  $C_i$  到达停车线的时间  $T_i$  与绿灯剩余时间  $t_s^i$  的时间差  $\Delta T_i$  为

$$\Delta T_i = t_s^i - T_i \quad (7)$$

综上所述, 当  $l_1^i < l_2^i$  时, 若  $L_i < l_1^i$ , 车辆在黄灯灯亮之前不能安全停车, 若  $\Delta T_i > 0$ ,  $C_i$  能在黄灯灯亮之前安全、快速地通过交叉路口, 若  $\Delta T_i \leq 0$ ,  $C_i$  不能安全通过交叉路口且不能安全停车; 若  $l_1^i \leq L_i \leq l_2^i$ ,  $C_i$  不能安全通过交叉路口且不能安全停车; 若  $L_i \geq l_2^i$ , 由于车辆不能闯黄灯,  $C_i$  必须减速停车; 同理, 当  $l_2^i \leq l_1^i$  时, 若  $L_i < l_2^i$ , 若  $\Delta T_i > 0$ ,  $C_i$  能在黄灯灯亮之前安全、快速地通过交叉路口, 若  $\Delta T_i \leq 0$ ,  $C_i$  即将闯黄灯, 不能安全通过交叉路口; 若  $L_i \geq l_2^i$ ,  $C_i$  必须减速停车。

## 2 驾驶员决策行为模型的建立

信号交叉口的通行状况十分复杂, 驾驶员会不断地改变决策行为, 在此过程中, 驾驶员首先要确定车辆所处的状态, 预测车辆到停车线的距离  $L_i$ , 然后通过加速, 减速, 匀速三种策略使车辆安全、尽快地通过信号交叉口。车辆在通过信号交叉口的过程中, 驾驶员均希望安全、尽快地通过交叉口, 其中安全是首要因素; 因此, 可以从安全和时间两个方面来衡量驾驶员选择不同策略所得的收益或损失, 即衡量驾驶员所得的效用。

车辆能不能通过信号交叉口, 与  $C_i$  到达停车线的时间和黄灯剩余时间的时间差  $\Delta T_i$  有关, 当  $\Delta T_i > 0$  时,  $C_i$  能安全、快速地通过交叉路口,  $\Delta T_i$  越大, 驾驶员获得的效用  $B_i$  越大, 即收益越大, 此时  $B_i$  为正值; 当  $\Delta T_i \leq 0$  时,  $C_i$  不能通过交叉路口,  $\Delta T_i$  越小, 驾驶员获得的效用  $U_i$  越小, 即损失越大, 此时  $U_i$  为负值; 因此, 驾驶员的效用与  $\Delta T_i$  成正比, 可设为  $U_i = \pm e^{\Delta T_i}$ 。

令  $\beta$  为驾驶员的性格因子,  $0 \leq \beta \leq 1$ , 并令  $0 \leq \beta \leq 1/3$  对应的是谨慎型的驾驶员,  $1/3 < \beta \leq 2/3$  对应的是温和型的驾驶员,  $2/3 < \beta \leq 1$  对应的是冲动型的驾驶员, 驾驶员的决策显然与驾驶员的性格有关。同时  $C_i$  通过交叉口的临界最大距离  $l_1^i$  与临界停车最短距离  $l_2^i$  也是影响驾驶员决策的因素之一,  $l_1^i$  越大,  $C_i$  通过交叉口的可能性越大,  $l_2^i$  越大,  $C_i$  通过交叉口的可能性越小, 因此驾驶员的效用与  $l_1^i$  成正比, 与  $l_2^i$  成反比, 即与  $l_1^i/l_2^i$  有关。

此外, 驾驶员获得的效用还与驾驶员的决策策略有关, 令  $\alpha$  为决策系数, 不同的决策对应的决策系数也不同, 即不同策略对应的势因素不同, 如:  $C_i$  的驾驶员选择加速策略的势为  $\alpha_1$ , 选择减速策略的势为  $\alpha_2$ , 则  $\alpha_1 > \alpha_2$ , 即选择加速策略比选择减速策略有优势。

又由于当  $l_1^i < l_2^i$  时, 若  $l_1^i \leq L_i \leq l_2^i$ , 驾驶员不能通过改变策略而安全通过交叉路口且不能安全停车, 此时, 令驾驶员获得的效用为定值且为负值, 可设为  $U_i = -e$ ; 同理, 当  $L_i \geq l_2^i$  时, 由于车辆不能闯黄灯, 驾驶员必须减速停车来避免闯黄灯, 此时车辆获得的效用可令为  $U_i = e$ 。

综上所述, 驾驶员的效用  $U_i$  是  $\Delta T_i$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $l_1^i$  和  $l_2^i$  的函数, 即为  $U_i(\Delta T_i, \beta, l_1^i, l_2^i)$ , 可表示为

1) 当  $l_1^i < l_2^i$  时

$$U_i = \begin{cases} -\beta \cdot e^{\Delta T_i} \cdot \frac{\alpha \cdot l_1^i}{l_2^i} & L_i < l_1^i, \Delta T_i \leq 0 \\ \beta \cdot e^{\Delta T_i} \cdot \frac{\alpha \cdot l_1^i}{l_2^i} & L_i < l_1^i, \Delta T_i > 0 \\ -e & l_1^i \leq L_i < l_2^i \\ e & L_i \geq l_2^i \end{cases} \quad (8)$$

2) 当  $l_1^i \geq l_2^i$  时

$$U_i = \begin{cases} \beta \cdot e^{\frac{\Delta T_i \alpha \cdot l_1^i}{l_2^i}} & L_i < l_2^i, \Delta T_i > 0 \\ -\beta \cdot e^{\frac{\Delta T_i \alpha \cdot l_1^i}{l_2^i}} & L_i < l_2^i, \Delta T_i \leq 0 \\ e & L_i \geq l_2^i \end{cases} \quad (9)$$

### 3 算例

假设每一时段的时间长度  $\Delta t = 1.5$  s, 令  $C_i$  在  $t_i$  时刻开始时到停车线的距离为:  $L_i = 140$  m, 速度为  $v_i = 45$  km·h<sup>-1</sup>, 加速度为  $a_i = 0$ , 绿灯剩余时间为  $t_g = 5$  s, 并且在行进过程中, 冲动型、温和型、谨慎型的驾驶员选择加速通过冲突点的加速度分别为  $a_1 = 2$  m·s<sup>-2</sup>,  $a_2 = 1.5$  m·s<sup>-2</sup>,  $a_3 = 1$  m·s<sup>-2</sup>, 选择减速通过冲突点的减速度分别为  $a_1 = -1$  m·s<sup>-2</sup>,  $a_2 = -1.5$  m·s<sup>-2</sup>,  $a_3 = -2$  m·s<sup>-2</sup>, 其中  $i = 1, 2, \dots, k$ , 冲动型、温和型、谨慎型的驾驶员对应的性格因子  $\beta$  分别为 1, 2/3, 1/3, 驾驶员选择加速、匀速、减速的决策系数  $\alpha$  分别为 4, 3, 2, 驾驶员的反应时间和操作时间分别为 0.5 s 和 1.5 s, 车辆在紧急情况下的最大减速度大小为  $a_{\max} = 6$  m·s<sup>-2</sup>, 车辆的最大加速度为  $a_{\max} = 7$  m·s<sup>-2</sup>[7]。根据式(8)式(9), 可求得  $C_i$  在  $t_{i+1}$  时刻选择加速, 匀速, 减速策略时对应的效用值, 均为 2.718 3。

分析可知, 在博弈开始时刻, 不同性格类型的驾驶员所获得的效用均为 2.718 3, 表明此时, 他们与交叉口的距离均大于临界停车最短距离  $l_2^i$ , 由于不能闯黄灯, 他们必须选择停车等待。

图2~图4分别表示不同性格类型驾驶员的不同策略对应效用变化趋势。以冲动型的驾驶员选择加速、匀速、减速策略为例, 如图2所示, 若冲动型驾驶员选择加速策略, 在时刻1到时刻4期间, 驾驶员获得的效用值始终保持在 2.718 3, 处于稳定趋势, 时刻4到时刻5期间, 效用值呈下降趋势, 且到达下峰值 -19.475 5, 时刻5到时刻10期间, 效用值呈上升趋势且逐渐趋于稳定, 在整个时间段内, 驾驶员的效用值在时刻4的变化最为突出, 其改变决策行为的可能性最大, 且在前3个时间段内, 车辆与交叉口的距离均大于临界停车最短距离, 驾驶员最可能选择停车等待, 时刻4到时刻8期间, 驾驶员的效用值由正转到负, 说明车辆按现行的车速和加速度不能安全地通过交叉路口, 时刻8之后, 车辆能在黄灯灯亮之前, 安全、快速的通过交叉路口; 若冲动型驾驶员选择匀速策略, 在前2个时间段内, 驾驶员获得的效用值始终保持在 2.718 3, 处于稳定趋势, 时刻3到时刻4期间, 驾驶员的效用值呈下降趋势, 且到达下峰值 -2.718 3, 时刻4到时刻7期间, 驾驶员的效用值在 -2.718 3 左右波动, 基本趋于稳定, 时刻7到时刻8期间, 驾驶员的效用值呈上升趋势, 时刻8之后, 驾驶员的效用值在 -0.230 0 左右波动且基本趋于稳定, 在整个时间段内, 驾驶员的效用值在时刻3变化最为突出, 驾驶员改变其决策行为的可能性最大, 且在在前2个时间段内, 车辆与交叉口的距离均大于临界停车最短距离, 驾驶员最可能选择停车等待, 时刻3到时刻10期间, 驾驶员的效用值由正转到负, 说明车辆

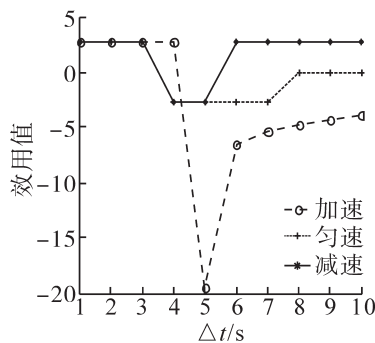


图2 冲动型驾驶员选择不同策略的效用值

Fig.2 Utility values of impulse drivers choosing different strategies

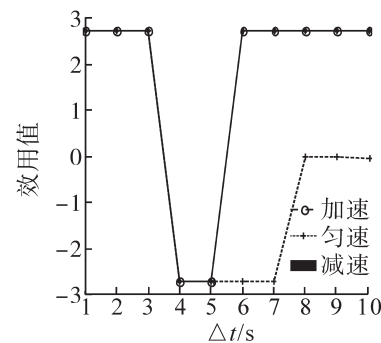


图3 温和型驾驶员选择不同策略的效用值

Fig.3 Utility values of mild drivers choosing different strategies



按现行的车速和加速度不能安全地通过交叉路口。同理,可以分析驾驶员选择减速策略时,驾驶员获得的效用值的变化趋势,由分析比较冲动型驾驶员选择不同策略对应的效用值的变化趋势知,驾驶员在决策开始时刻选择减速策略获得的效用值最大,安全通过交叉口的可能性也最大;因此,对于冲动型的驾驶员在决策初始时刻最可能选择减速策略。

同理分析温和型、谨慎型驾驶员选择不同策略对应效用值的变化趋势知,温和型的驾驶员选择加速或减速策略时获得的效用值最大,安全通过交叉口的可能性最大;谨慎型的驾驶员选择减速策略时,驾驶员安全通过交叉口的可能性最大。

#### 4 结束语

根据机动车驾驶员的性格因素和不同策略间的相对势因素,从博弈角度对驾驶员的决策行为进行多时段分析,结合车辆到达停车线的时间与黄灯剩余时间的的时间差,建立了基于动态重复博弈的驾驶员决策行为模型,最后应用本文模型分析算例,计算不同驾驶员性格类型的效用,得到动态博弈中机动车驾驶员的最优决策行为,并对博弈过程中不同性格类型的驾驶员选择不同策略时的效用变化趋势进行了分析,得到冲动型的驾驶员偏好于选择减速策略,温和型的驾驶员偏好于选择加速或减速策略,谨慎型的驾驶员偏好于选择减速策略。

本文在一定程度上能够反映在绿灯结束期间,机动车驾驶员通过信号交叉口时复杂的驾驶心理,为研究信号交叉口驾驶员决策行为提供理论参考,但在建模过程中只考虑了单一车型和一辆车参与博弈,并且对影响模型的相关因素进行了相应的简化,更为合理的多车、多车型博弈模型,需要做进一步研究。

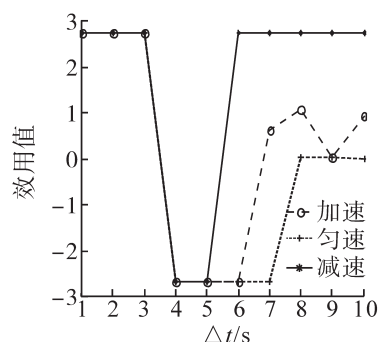


图4 谨慎型驾驶员选择不同策略的效用值

Fig.4 Utility values of cautious drivers choosing different strategies

#### 参考文献:

- [1] 张笑彬,郑长江,郑树康. 预信号交叉口公交停靠站与人行横道协调设计[J].华东交通大学学报,2014,31(1):23-28.
- [2] ALEXANDRA GHEORGHIU, CORNELIU HAVÂRNEANU. Driving behavior of a sample of young Romanian drivers[J].Procedia - Social and Behavioral Sciences,2011(33):697-701.
- [3] CASUCCI M, MARCHITTO P C, CACCIABUE A. Numerical tool for reproducing driver behaviour: experiments and predictive simulations[J].Original Research Article Applied Ergonomics,2010,41(2): 198-210.
- [4] NAOHIRO UCHIYAMA EIICHI TANIGUCHI. A study of dispatcher's route choice model based on evolutionary game theory[J]. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2012(39):495-509.
- [5] MURAT DEMIR, ABDULLAH CAVUSOGLU. A new driver behavior model to create realistic urban traffic environment[J].Transportation Research Part F, 2012(15):289-296.
- [6] 吴文静,雒志才,贾洪飞,倒计时信号交叉口处的驾驶员行为决策[J].系统工程与实践, 2009,29(7):160-165.
- [7] 龙科军,何林儒,韩立,黄灯期间信号交叉口的驾驶员行为[J].系统工程, 2010,28(12):117-120.
- [8] 刘小明,王秀英.基于重复博弈的无灯控交叉口驾驶员行为模型[J].中国公路学报, 2011,24(4):94-100.
- [9] 张维迎. 博弈论与信息经济学[M]. 上海:上海人民出版社, 2012:97-103.

(下转第84页)

- [17] Koutsabeloulis N C, Griffiths D V. Numerical modelling of Trap door problem[J]. Geotechnique, 1989, 39(1): 77-89.
- [18] 韩高孝, 宫全美, 周顺华. 摩擦型岩土材料土拱效应微观机制颗粒流模拟分析[J]. 岩土力学, 2013, 34(6): 1791-1798.
- [19] 胡欣雨, 张子新. 不同地层条件泥水盾构开挖面失稳状态颗粒流模拟方法研究[J]. 岩土力学, 2013, 32(11): 2258-2267.
- [20] 史旦达. 单调与循环加荷条件下砂土力学性质细观模拟[D]. 上海: 同济大学, 2007.
- [21] 加瑞. 盾构隧道垂直土压力松动效应研究[D]. 南京: 河海大学, 2007.

## Soil Arching of Trapdoor Tests Based on Non-circular Particles

Zhao Zhiguo<sup>1</sup>, Wang Binglong<sup>1</sup>, Han Gaoxiao<sup>1</sup>, Tang Bin<sup>2</sup>, Liang Jie<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. Chengdu Hydropower Construction Investment Co., Ltd., Chengdu 610212, China; 3. Sinohydro Bureau 7th Co., Ltd., Chengdu 610081, China)

**Abstract:** Based on the particle flow code theory, the elliptical particle was developed by using the clump logic in PFC<sup>2D</sup> (two-dimensional particle flow code) to simulate the soil arching of sand in Trapdoor tests. The influence of trapdoor displacement, particle shape, particle frictional coefficient and the width of Trapdoor on soil arching were also studied. Numerical results show that the soil arching appears with the movement of Trapdoor, the soil arching strengthens with the increasement of the ratio of axis of particle and particle frictional coefficient, and the soil arching weakens with the increasement of the width of Trapdoor.

**Key words:** particle flow code theory; the elliptical particle; Trapdoor tests; soil arching

(责任编辑 王建华)

(上接第 56 页)

## Analysis of Drivers' Behavior at Signalized Intersection

Huang Xuanwei<sup>1</sup>, Wang Jing<sup>1</sup>, Zhang Lin<sup>2</sup>

(1. National Institute of Education, Nanchang Institute of Science and Technology, Nanchang 330108, China; 2. College of Mathematics and Information Science, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, Jiangxi, China)

**Abstract:** In order to study the decision-making behavior of drivers at the signalized intersection, this study establishes a utility function of drivers' driving behavior by reference to dynamic reduplicate game theory based on the drivers' personality that affects decision-making behavior and time refinement, and the relative potential factors among different strategies. According to the drivers' decision-making behavior in the process of driving and analyzing the utility of the drivers' decision-making behavior, the drivers' optimal decision behaviors in a dynamic game are obtained, and the feasibility of the model is simultaneously verified. Experiments show that during decision-making ① impulsive drivers are more willing to choose deceleration strategy; ② mild drivers prefer acceleration strategy or deceleration strategy; and ③ cautious drivers choose deceleration strategy.

**Key words:** signalized intersection; reduplicate game; traffic conflict; optimal decision behaviors

(责任编辑 姜红贵)