

文章编号:1001-7372(2002)02-0105-04

微观交通仿真中的车道变换模型

邹智军,杨东援

(同济大学 道路与交通工程系,上海 200092)

摘 要:将车道变换行为分为强制性车道变换和任意性车道变换两种类型,分析了两种车道变换类型的各种常见情形,建立了描述车辆车道变换意图的产生、车道变换可行性分析以及车道变换的实施等行为的车道变换模型。此外,作为一种特殊的车道变换行为,还建立了反映车辆在拥挤状态下的挤车变道行为的挤车变道模型。

关键词:交通仿真;车道变换模型;挤车变道模型

中图分类号:U491 **文献标识码:**A

Lane changing model for micro traffic simulation

ZOU Zhi-jun, YANG Dong-yuan

(Department of Road and Traffic Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: This paper classifies lane changing into two modes: mandatory and discretionary lane changing. The common situations of lane changing for the two modes are expatiated. Thereafter, a lane changing model which describes as the process includes the intention generation, feasibility analysis and implementation is put forward. Finally, as a special lane changing mode, the lane nosing behavior under crowded traffic condition is also modeled.

Key words: traffic simulation; lane changing model; lane nosing model

0 引 言

描述车辆行驶行为的微观交通仿真模型总体上可以分为三种类型,即跟车模型、车道变换模型和事件反应模型(反映车辆在各种特定事件情况下的行驶行为)。其中跟车模型、车道变换模型描述的是车辆最基本的两种行驶行为:车辆在一条车道内跟随正前方车辆行驶的跟车行为和车辆由当前车道变换到相邻车道的变换车道行为。在笔者进行的城市道路交通仿真系统 TJTS^[1] (Tongji Traffic Simulation)开发过程中分别建立了上述三种类型的模型,其中跟车模型和事件反应模型已另文介绍,本文中着重介绍车道变换模型。

1 车辆行驶行为微观仿真建模背景^[2,3]

时间扫描法是微观交通仿真的基本方法。时间扫描仿真法将仿真时段分隔为若干个微小时间间

隔,车辆行驶行为的微观仿真模型则描述每一辆车在每一微小时间间隔内如何根据其本身的行车状态、周围其它车辆的行车状态以及其它的道路交通约束条件来决定其在下一时刻的行驶行为,也由此确定其在下一时间间隔内的行车状态。车辆的行车状态通过车辆的属性变量来反映,如车速、加速度、位置等。一般情况下,由车辆行驶仿真模型来确定车辆在下一时刻的加速度,再根据当前时刻车辆的车速和位置即可确定车辆在下一时刻的速度和位置。对车辆位置的描述是基于车道的,即由车道的编号及沿车道行车方向的纵向距离来表示。显然,如果车辆进行车道变换后,则车辆位置的变化不仅是纵向距离的变化,还包括车道编号的变化。

2 车道变换模型

车道变换模型描述的内容为车辆的车道变换行

收稿日期:2001-04-15

作者简介:邹智军(1969-),男,江西吉安人,同济大学工程师,工学博士。

为的整个过程,包括车辆车道变换意图的产生、车道变换的可行性分析以及车道变换行为的实施。

2.1 车辆车道变换意图的产生

车辆在路网中行驶时诱发其产生变换车道意图的原因各式各样,但总体上可将车辆的车道变换行为分为两类。

2.1.1 强制性车道变换行为

强制性车道变换是指车辆为了完成其正常行驶目的而必须采取的车道变换行为。图1中给出了的三种最为常见的强制性车道变换的情形。

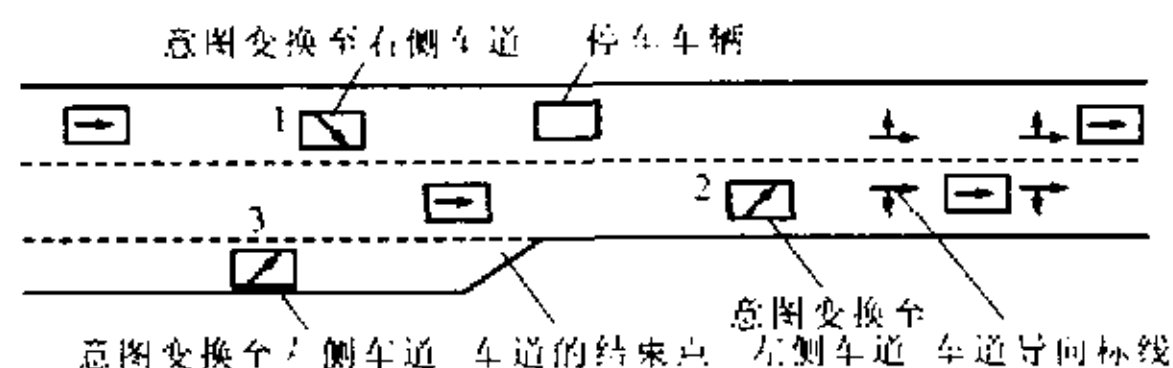


图1 三种常见的强制性车道变换的情形

图1中车辆1因为正前方车辆正在停车而阻挡了其在目前车道上继续行驶的路线,因而不得不准备变换至右侧车道。车辆2根据其既定的路线选择必须在前方交叉口左转,因此当它在交叉口的进口道上行驶且已看到前方的车道导向标线时则要准备向左变换车道。车辆3已接近当前车道的尾部,因而也将准备向左变换车道。另外,公交车在接近前方停靠站时从里侧车道转至外侧的公交停靠车道的变道行为也是一种常见的强制性变道行为,关于公交车的停靠站仿真模型笔者已另文介绍,本文不再赘述。

图1所示的三种车道变换情形有一个共同点,即车辆必须在前方某一关键点之前完成其车道变换行为。车辆1的前方关键点为正前方停车车辆的位置,车辆3的前方关键点为当前车道的结束点。车辆2的情况略有不同,由于交叉口前的车道导向标线往往不只一组,因此车辆2并不一定要在第一组标线之前完成其变道行为,但它必须在第一组标线位置下游的某一点之前完成变道行为(该点为进口道上车道线由虚线改为实线的位置)。因此仍可将第一组车道导向标线的位置视为车辆2的关键点,只不过车辆2并不一定要在该点前完成变道行为。显然,决定车辆是否会产生变道意图的最直接的因素是车辆与关键点之间的距离。换句话说,车辆将在距前方关键点的一个临界距离之内产生相应的变道意图。当然,象驾驶员特性、车辆的机械特性等因素会对临界距离产生影响。上述三种情形的临界距离如下

$$D_i = D_i^0 + \epsilon_i \quad (1)$$

式中: D_i 为临界距离, $i=1\sim 3$,分别表示图1中车辆

1~3的情形; D_i^0 为一常数值; ϵ_i 为一正态分布随机变量。

式(1)中 D_i^0 、 ϵ_i 可通过实地观测得到。具体的观测方法是记录上述三种情形下车辆在不受相邻车道上车辆干扰时发生变道的位置与相应关键点的距离。根据笔者的观测,对于 $i=1$ 和3的情形,大多数情况下可取缺省值 $D_i^0=50\text{ m}$, ϵ_i 为 $[-10,10]$ 之间的正态随机数。而对于 $i=2$ 的情形,由于实地观测时绝大多数的车辆是在出现第一组车道导向标线之后的一定距离范围内,因此取 $D_i^0=0\text{ m}$,而 ϵ_i 可取为 $[5,20]$ 之间的正态随机数。

2.1.2 任意性车道变换行为

任意性车道变换是指车辆在遇到前方速度较慢的车辆时为了追求更快的车速、更自由的驾驶空间而发生的变换车道行为。这种车道变换与强制性的车道变换的区别在于,即使车辆不变换车道也能在原车道上完成其行驶任务,因此变道不是强制性的。

每一车辆都有一期望车速,即在不受其它车辆约束的情况下驾驶员所希望达到的最大车速。期望车速与车辆机械性能、驾驶员特性、道路的限速措施等有关。当车辆在当前车道行驶时,由于受到前方慢车的影响而使其车速低于其期望车速的一定数值范围内,则车辆会产生任意性的车道变换意图。具体来说,当满足下式的条件时车辆将产生变道意图

$$V_{\text{当前}} < \gamma V_{\text{期望}} \quad (2)$$

式中: $V_{\text{当前}}$ 为当前车辆在受到正前方车辆跟车约束时而采取的行驶车速; $V_{\text{期望}}$ 为当前车辆的期望车速; γ 为一折减率,建议取值为0.75~0.85。

上式表明车辆在跟车速度低于期望车速的 γ 倍时就会产生变道的意图。

除了上述的最为常见的任意性车道变换情况外,还有一种与公交车停靠有关的任意性车道变换情形,如图2所示。

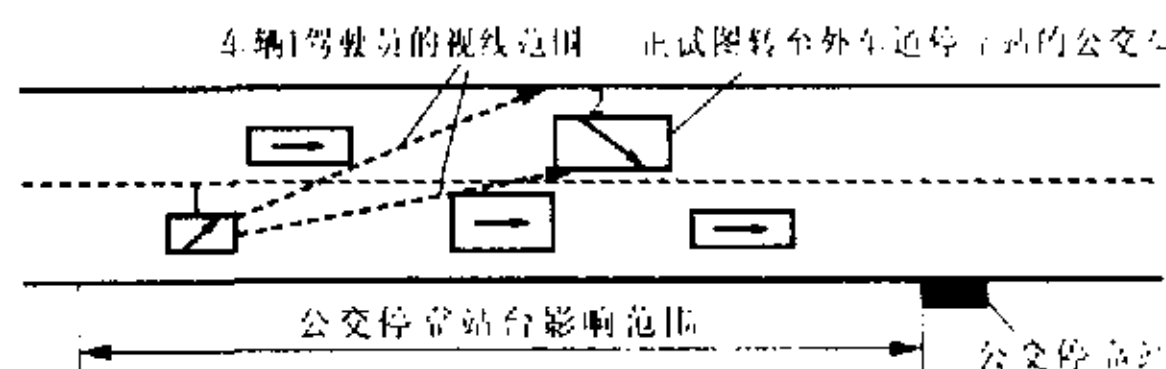


图2 一种特殊的任意性车道变换的情形

图2中的车辆1由于发现左侧车道前方有一公交车(车辆2)正准备进站停靠。由于估计到车辆2会停靠在外侧车道上而阻碍其前进,车辆1一般会提前产生任意性变道的意图,而不愿意等到车辆2

停靠在当前车道后再进行强制性的车道变换。当然,上述情况的发生必须是在公交站台的影响范围内,而且车辆1能够在其视线范围内看到车辆2。车辆1的视线范围可根据车辆的尺寸和相对位置,采用简单的解析几何方法即可计算得到。

一旦在某一扫描时刻确定车辆已产生变道意图,则需将车辆在下一时刻的行车状态置为等待变道状态,并从下一扫描时刻开始车辆要持续地进行车道变换的可行性分析。

2.2 车道变换的可行性分析

当车辆产生变道意图后将持续地观察变道至相邻车道的可行性,一旦相邻车道出现可变道的空当即实施变道行为。车辆对变换到相邻车道的可行性分析包括两个内容:①当前车辆是否符合相邻车道的车道使用规定;②相邻车道上是否有车道变换所需的足够的空当。车辆要变到相邻车道上去首先就要满足相邻车道对车辆使用的规定。这涉及到相邻车道是否有车型的限制(如公交专用道)、当前车辆是否违背了相邻车道的转向限制等各种可能性的判断。此外,即使相邻车道不满足车道变换的需要,还需要增加分析通过相邻车道再转到更远一点的侧向车道上去的可能性,这主要是适应对多车道情况下车道变换行为的描述。

相邻车道上在当前车辆前面及后面的车辆会对当前车辆的车道变换行为产生直接影响,一般情况下当前车辆只有在其与相邻车道上的前车和后车的空当都足够大时才会实施车道变换行为。图3表示的是等待车道变换时当前车辆与相邻车道前后车的空当情况。

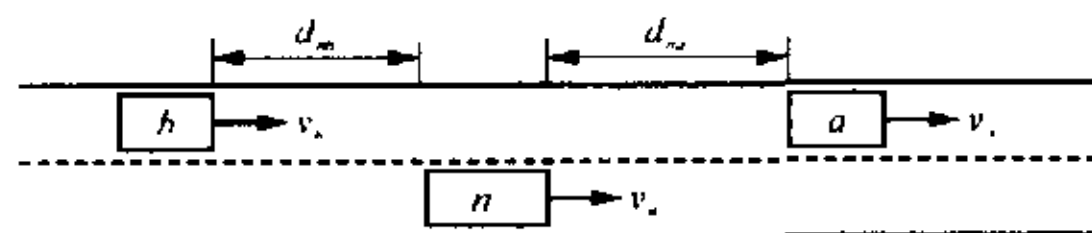


图3 等待车道变换时当前车辆与相邻车道前后车的空当情况

图3中 n 为等待进行车道变换的当前车辆, a 、 b 分别为相邻车道上的前车和后车, v_b 、 v_a 分别为后车和前车的速度, d_{na} 、 d_{nb} 分别为当前车与相邻车道前车的距离和当前车与相邻车道后车的距离。根据 d_{na} 、 d_{nb} 以及 v_b 、 v_a 可计算得到当前车辆 n 与车辆 a 、 b 通过同一断面的时间间隔:前当 d_{na} 和后当 d_{nb} 。只有前当和后当均大到可以接受的程度时,当前车辆才会实施车道变换行为。车辆的可接受空当与驾驶员特性、车辆性能等因素相关。

如果具备变换车道可行性的相邻车道数超过

1,则应分别计算其车道变换效益,选择变换效益高的车道作为变道的目标车道。车道变换效益指当前车辆经过变换车道以后所获得的自由度的增加。自由度可通过与相邻车道前车之间的速度差和距离差来描述的。显然,相邻车道前车的速度越大、间距越大,车辆变道后所获得的自由度就越大,车辆也就更愿意选择变到这样的车道上。图4表示的是当前车辆 n 所在车道的左右两条相邻车道均满足车道变换条件的情况。

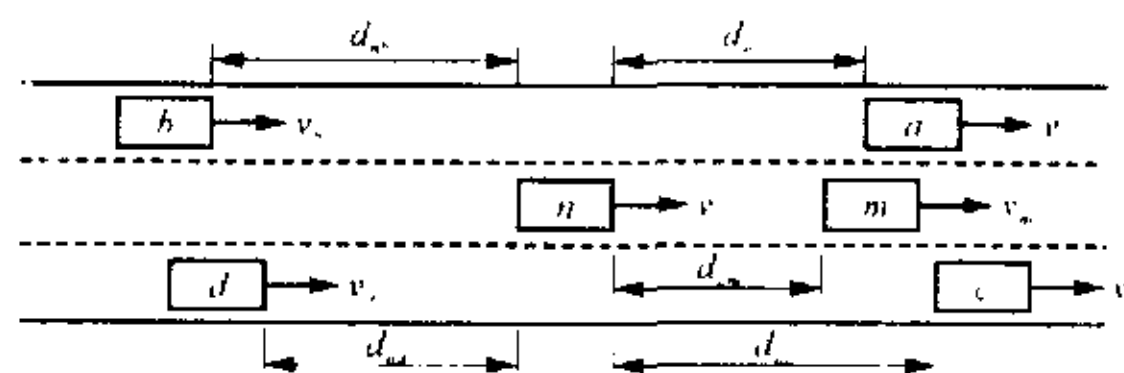


图4 当前车辆具有两条可供变换车道的情况

左右两车道对当前车辆的车道变换效益如下

$$V_l = \left[\alpha \frac{d_{nb} - d_{nm}}{d_{nm}} + \beta \frac{v_b - v_n}{v_n} \right] \gamma_l \quad (3)$$

$$V_r = \left[\alpha \frac{d_{na} - d_{nm}}{d_{nm}} + \beta \frac{v_a - v_n}{v_n} \right] \gamma_r \quad (1)$$

式中: V_l 、 V_r 分别为左、右相邻车道的车道变换效益; α 、 β 分别为空间效益参数和速度效益参数; d_{nm} 、 d_{na} 、 d_{nb} 分别为当前车与正前方、左前方及右前方车辆之间的间距; v_n 、 v_a 、 v_b 分别为当前车、左前方车辆及右前方车辆的车速; γ_l 、 γ_r 分别为车道偏爱系数,一般 γ_r 可取1.0, γ_l 可取1.1~1.2。

车道变换模型的逻辑结构如图5所示。

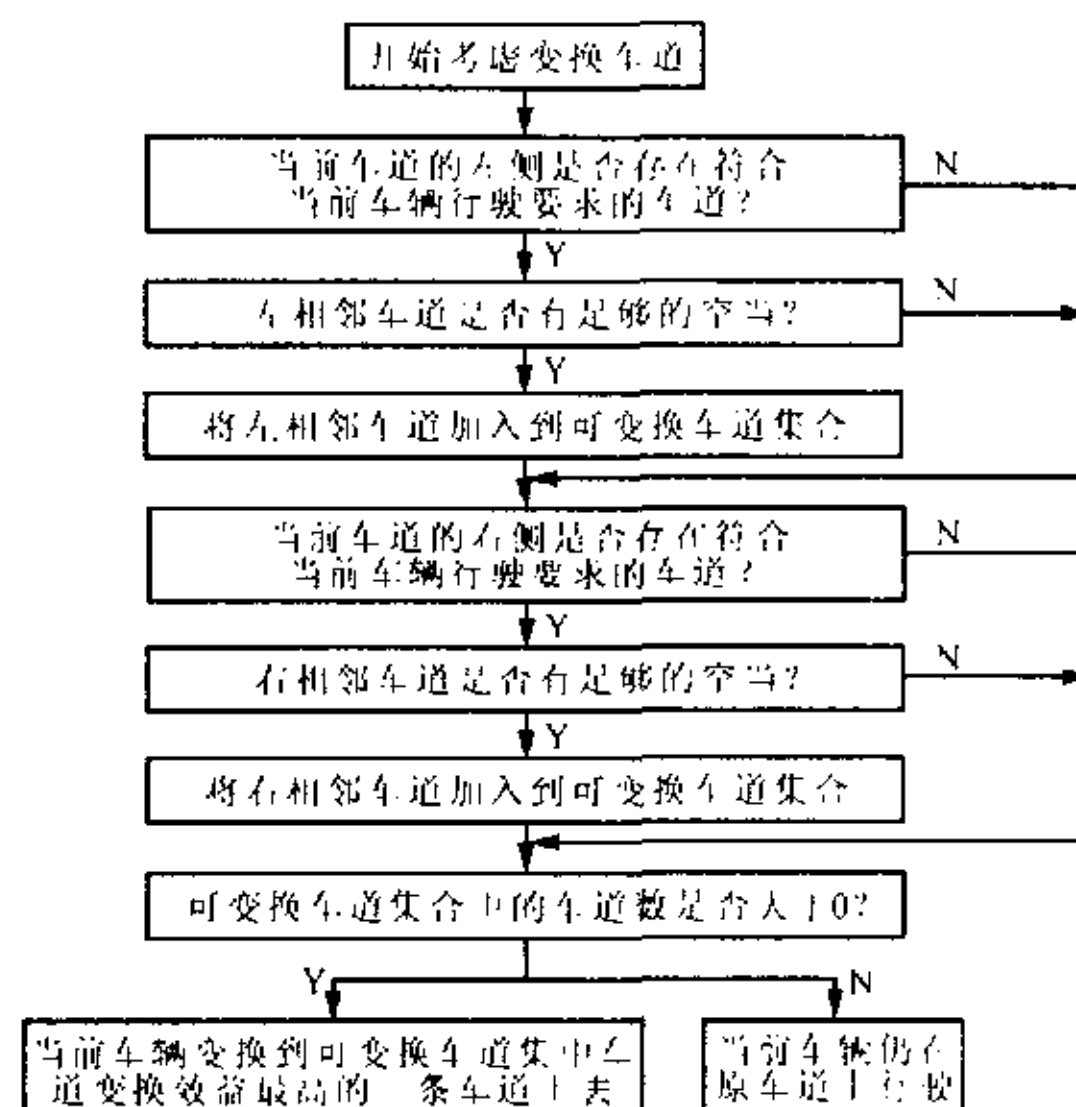


图5 车道变换模型的逻辑结构

2.3 车道变换行为的实施

车辆在真正实施车道变换时其行车状态将由原

来的等待变道设置为车道变换中状态。车辆处于车道变换中状态时将视相邻车道的前车为跟随目标,其加速度模型与跟随同一车道正前方车辆的跟车模型完全一致。而与此同时,目标车道的后车以及原车道上的后方车辆均将当前车辆视为跟随目标,以跟车模型确定其加速度。车道变换过程中车辆之间的影响关系如图 6 所示。

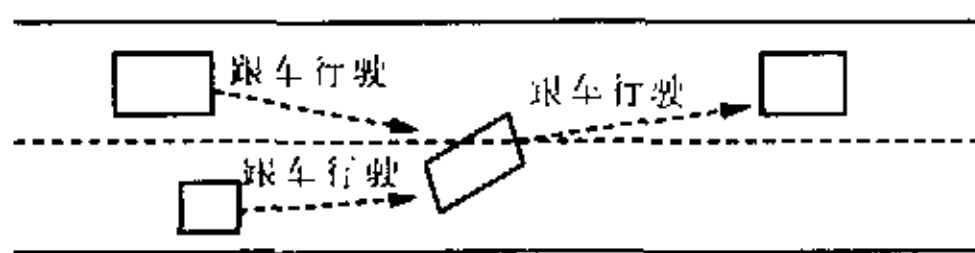


图 6 车道变换过程中车辆之间的影响关系

3 挤车变道模型

在实际的交通现象中还可经常看到在交通拥挤状态下所发生的强行变换车道的行为。由于车辆往往是通过挤迫相邻车道的车辆而实施变道行为的,因此笔者称为挤车变道行为。

3.1 挤车变道意图的产生

挤车变道行为是在车辆产生强制性车道变换意图后,相邻车道持续地不能满足变道的可行性条件的情况下发生。根据现场观察,车辆实施挤车变道行为时往往具有以下特点:

(1) 交通处于拥挤状态,相邻车道出现可接受空当的概率很小;

(2) 待变道的车辆在等待相邻车道空当的过程中,车速已经降低至一个较低的数值;

(3) 待变道车辆等待相邻车道出现可接受空当的时间较长。

根据以上特点对车辆(驾驶员)产生挤车变道意图的可能性建立以下概率模型

$$p = \begin{cases} 0 & (v \geq v_0) \\ \sin \left\{ \frac{\pi}{2} [A(t/t_0)]^{\alpha K_j/K} \right\} & (v < v_0) \end{cases} \quad (5)$$

式中: p 为车辆产生挤车意图的概率; v 为车辆的速度; v_0 为车辆产生挤车意图时所不能超过的最大速度; t 为车辆等待变道的时间; t_0 为车辆所能接受的不进行挤车的最大忍耐时间; K 为目标车道上一定距离范围内的车辆密度,例如可取目标车道上在当前车辆下游 50~100 m 范围内的车辆数与距离之比; K_j 为阻塞密度; α 为待定参数; $A(\cdot)$ 为一特定函数

$$A(x) = \begin{cases} x & (x \leq 1) \\ 1 & (x > 1) \end{cases} \quad (6)$$

3.2 挤车变道的可行性分析

在车辆产生挤车变道意图之后,将不再按照正常车道变换时的标准来进行变道可行性的判断。挤车过程往往是通过挤压相邻车道的后当车辆而实现。从现场观察的情况看,车辆是否真正实施挤车是基于对后当车辆能否安全让车的判断。假设图 3 中车辆 n 正试图进行挤车变道,其对能否安全地挤压后当车辆 b 的判断方式为:如果车辆 b 在当前车速 v_b 的情况下能以一个合理的减速度在距离 d_{nb} 内减速停车,则表明可以安全挤车。即如果: $d_{nb}^b < d_{nb}$ 且 $d_{nb} > d_0$,则可安全挤车

$$d_{nb}^b = v_b^2 / (2\mu a_b^{\max}) \quad (7)$$

式中: d_{nb}^b 为车辆 b 以接近该车最大减速度 a_b^{\max} 的减速度值减速停车的距离; μ 为最大减速度的折减系数,可在 0.8~0.9 之间取值; d_0 为临界安全距离,由于挤车车辆的车速很低,因此该临界值可取较小的数值。

3.3 挤车变道的实施及被挤车辆的让车

挤车车辆一旦开始实施其挤车变道过程,则忽略相邻车道被挤车辆对其本身的约束,而以保持与前当车辆最小安全距离的方式紧跟前当车辆行驶。而后当的被挤车辆则会尽快减速,以便从容而安全地跟随挤车车辆行驶。

4 结 语

笔者提出的车道变换模型还只是对一些常见情况的描述,一些特定意义的情形还没有完全包含。特别是模型大多没有经过实测数据的标定和验证,模型的参数的取值大都是基于一种逻辑意义上的假设,其成果直接应用于实际仍需谨慎。从某种意义上看,笔者更多的是提供了一种微观交通仿真建模的模式和思路。微观层次交通现象的建模描述非常之细致复杂,对每一个细节的交通行为进行完整的实测数据标定是非常困难的。因此,往往要根据实际分析问题的具体需求在模型的可操作性与准确性之间进行平衡。

参考文献:

- [1] 邹智军. 城市道路交通仿真研究[D]. 上海: 同济大学, 2000.
- [2] 邹智军. 计算机仿真法研究优先控制 T 型交叉口通行能力[J]. 中国公路学报, 2000, 13(3): 101-105.
- [3] 邹智军, 杨东援. 动态交通状态微观仿真技术初探[J]. 同济大学学报, 1998, 27(3): 305-308.