

# 城市道路拥堵状态下驾驶人换道特性研究

漆巍巍<sup>1</sup>, 裴玉龙<sup>2</sup>

(1. 哈尔滨工业大学交通科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2. 东北林业大学交通学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

**摘要:** 交通拥堵状态下车辆行驶速度低于驾驶人期望车速, 引发驾驶人变换车道以获得更好的行车空间, 由此导致不同程度的交通冲突。首先分析交通拥堵对驾驶人换道行为的影响, 依据导致的交通冲突数和冲突程度将换道驾驶行为分为三种类型。基于大量实测数据, 分别研究小型客车、大型客车、小型货车在交通拥堵状态下的车道变换特性, 构建三种类型换道比例与交通拥堵压力系数的关系模型。结果表明, 交通拥堵对三种类型车辆的换道行为均产生显著影响; 相比小型客车和大型客车, 小型货车不同类型换道比例分布更加离散。

**关键词:** 城市交通; 交通拥堵; 车道变换; 车辆类型; 回归模型

Characteristics of Drivers' Lane Change under Traffic Congestion on Urban Roadways

Qi Weiwei<sup>1</sup>, Pei Yulong<sup>2</sup>

(1. School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang 150090, China; 2. College of Traffic, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang 150040, China)

**Abstract:** The lower-than-expected driving speed under congested traffic makes some drivers change lanes frequently for potential higher speed, which triggers traffic conflicts. By analyzing the impact of traffic congestion on drivers' lane-changing behavior, this paper presents three types of lane-changing behavior based on the number of traffic conflicts and their degree of consequent impact. Through discussing the characteristics of lane change by vehicle type (minibus, large bus and minivan) under traffic congestion, the paper develops the models to show the relationship between the proportion of three types of lane-changing behavior and the level of traffic congestion with the collected massive data. The results show that traffic congestion has a significant impact on the three types of lane-changing behavior. Compared with the lane-changing characteristics of minibus and large bus, the distribution of lane changing proportion by minivan is more dispersed.

**Keywords:** urban transportation; traffic congestion; lane change; vehicle types; regression model

收稿日期: 2014-02-16

基金项目: 国家自然科学基金项目“营运汽车驾驶员驾驶疲劳累积及预防政策研究”(51178149)

作者简介: 漆巍巍(1985—), 男, 安徽金寨人, 博士研究生, 主要研究方向: 道路交通安全。

E-mail: qwwhit@163.com

## 0 引言

交通拥堵影响机动车的运行效率和安全, 对交通参与者造成了生理和心理的双重压力, 进而表现在驾驶行为上, 如车辆跟驰、车道变换等。国内外对交通拥堵的研究主要集中在交通拥堵的形成机理、疏解策略和管理对策等方面。文献[1]将交通拥堵的空间分布分为孤立交叉口拥堵、线状主干路拥堵和区域拥堵。文献[2]提出基于城市道路路

段平均占有率的拥堵判别算法, 并建立相应的交通拥堵判别指标。文献[3]提出交通拥堵费是缓解城市交通拥堵直接而有效的需求管理方法, 提出了一种旧城区交通拥堵收费的可行方案, 并基于北京市宏观交通模型测试施行拥堵费后的预期交通影响。文献[4]研究信号控制优化算法来提高交叉口通行能力, 缓解车辆出行压力。在车道变换方面, 文献[5]针对换道行为的时间差异性, 借助马尔科夫链过程分析车辆换道行为。文献[6]构建了

车辆换道行为离散选择模型，以此模拟实时交通流状态下的换道行为。文献[7]研究了车道变换的特性及其对交通安全的影响，提出了相应保障措施和建议。文献[8]认为驾驶人自身生理、心理因素会影响车道变换行为，在允许范围内尽量提高车速是其主要动机。

本文借鉴国内外学者关于交通拥堵和车道变换行为的研究成果，基于大量的实测数据探讨城市道路拥堵状态下驾驶人的车道变换特性及规律，以便及时根据交通流状态为驾驶人恰当换道提供警示，保障交通拥堵状态下的行车安全。

### 1 交通拥堵对驾驶人换道的影响

车辆行驶过程中，驾驶人需要不断地通过眼睛、耳朵等感觉器官从道路环境中获取各类交通信息，经神经中枢系统判断后做出相应的决策，并通过手和脚的操作来支配车辆的加减速、转向等，使其按照驾驶人的意志做出相应的运动轨迹，形成了“道路环境—驾驶人—车辆运动—新道路环境”的闭合系统。

不同出行目的和生理状态的驾驶人对车速的期望不同，根据相邻车道的车流状况，

表1 小型客车换道比例的变化

Tab.1 Change of lane changing proportion of minibus

压力系数 $\chi_{press}$	斜插型 $P(L_1)$	挤压型 $P(L_2)$	并行型 $P(L_3)$	合计
0.38	0.234 9	0.443 3	0.321 7	1.000 0
0.39	0.245 4	0.448 2	0.306 4	1.000 0
0.42	0.244 7	0.446 2	0.309 1	1.000 0
0.45	0.250 3	0.430 1	0.319 6	1.000 0
0.47	0.278 0	0.404 6	0.317 4	1.000 0
0.49	0.286 8	0.401 2	0.312 0	1.000 0
0.53	0.282 2	0.390 6	0.327 2	1.000 0
0.56	0.294 0	0.368 3	0.337 7	1.000 0
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
0.61	0.281 0	0.364 2	0.354 8	1.000 0
0.64	0.308 5	0.367 4	0.324 1	1.000 0
0.67	0.287 0	0.348 3	0.364 7	1.000 0
0.72	0.287 7	0.339 3	0.373 0	1.000 0
0.75	0.274 9	0.350 0	0.375 1	1.000 0
0.86	0.267 4	0.312 9	0.419 7	1.000 0
0.88	0.219 4	0.336 6	0.444 0	1.000 0
0.92	0.224 2	0.330 9	0.444 9	1.000 0
平均	0.268 7	0.379 4	0.351 9	1.000 0

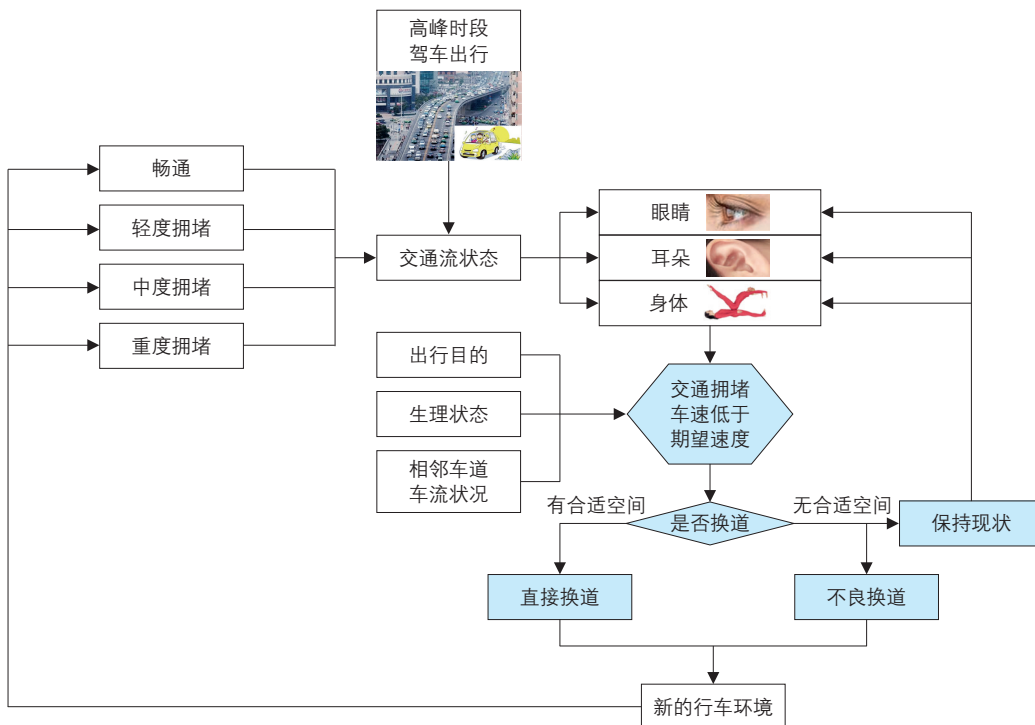


图1 拥堵状态下驾驶人的信息处理流程

Fig.1 Information processing flow of drivers under congested traffic

选择直接换道、不良换道或保持现状。若选择直接换道或不良换道，驾驶人将在新的车道中面临对交通状态的再次判断，形成一个“认知—判断—动作—新环境—再认知”的闭合环路；若选择保持现状，驾驶人仍会不断观察相邻车道的车流状况，以获得换道机会。交通拥堵状态下驾驶人换道的信息处理流程如图1所示。

针对不同操作下换道驾驶行为导致的交通冲突数和冲突程度，将换道驾驶行为分为斜插型、挤压型和并行型。

表2 小型客车换道比例与交通拥堵压力系数的关系

Tab.2 Relationship between the proportion of lane change of minibus and the level of traffic congestion

换道类型	拟合类型	公式	R <sup>2</sup>
L <sub>1</sub>	线性	$P(L_1) = -0.018 2\chi_{press} + 0.279 7$	0.013 9
	二次多项式	$P(L_1) = -0.876 2\chi_{press}^2 + 1.110 4\chi_{press} - 0.059 4$	0.825 7
L <sub>2</sub>	线性	$P(L_2) = -0.232 9\chi_{press} + 0.520 6$	0.867 5
	二次多项式	$P(L_2) = 0.471 5\chi_{press}^2 - 0.840 2\chi_{press} + 0.703 0$	0.957 2
L <sub>3</sub>	线性	$P(L_3) = 0.251 2\chi_{press} + 0.199 7$	0.899 1
	二次多项式	$P(L_3) = 0.404 3\chi_{press}^2 - 0.269 6\chi_{press} + 0.356 1$	0.957 9

表3 大型客车换道比例的变化

Tab.3 Change of lane changing proportion of large bus

压力系数 $\chi_{press}$	斜插型 $P(L_1)$	挤压型 $P(L_2)$	并行型 $P(L_3)$	合计
0.38	0.167 2	0.494 0	0.338 8	1.000 0
0.39	0.190 1	0.476 0	0.333 9	1.000 0
0.42	0.174 5	0.474 1	0.351 4	1.000 0
0.45	0.219 2	0.442 2	0.338 6	1.000 0
0.47	0.205 0	0.437 8	0.357 2	1.000 0
0.49	0.223 2	0.436 3	0.340 5	1.000 0
0.53	0.203 7	0.381 0	0.415 3	1.000 0
0.56	0.196 0	0.433 5	0.370 5	1.000 0
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
0.61	0.218 4	0.400 8	0.380 8	1.000 0
0.64	0.221 9	0.414 0	0.364 1	1.000 0
0.67	0.227 6	0.357 6	0.414 8	1.000 0
0.72	0.214 5	0.361 5	0.424 0	1.000 0
0.75	0.210 5	0.412 2	0.377 3	1.000 0
0.86	0.156 9	0.400 5	0.442 6	1.000 0
0.88	0.177 6	0.386 4	0.436 0	1.000 0
0.92	0.121 3	0.360 8	0.517 9	1.000 0
平均	0.198 6	0.414 4	0.387 0	1.000 0

1) 斜插型。

指驾驶人在实施换道时，忽略与原始车道和目标车道后方车辆间的临界车头时距，在车头时距不满足要求的情况下，依旧直接插入目标车道完成换道的不良驾驶行为，往往导致严重的交通冲突。

2) 挤压型。

指驾驶人在进行车道变换时，由于原始车道和目标车道后方车辆间的车头时距不满足要求，而继续向目标车道挤压，一旦获得空间立即驶入目标车道，往往导致中等程度的交通冲突。

3) 并行型。

指驾驶人在进行车道变换时，由于原始车道和目标车道后方车辆间的车头时距不满足要求，而与目标车道车辆并行，且逐步转向目标车道的行为，导致轻微的交通冲突。

文献[9]从驾驶人感受的角度，定义了交通拥堵压力系数  $\chi_{press}$  (其值介于0和1之间)表示车辆实际运行速度  $\bar{V}_{yuxing}$  与期望车速  $\bar{V}_{qiwang}$  之间的关系，如式(1)所示：

$$\chi_{press} = (\bar{V}_{qiwang} - \bar{V}_{yuxing}) / \bar{V}_{qiwang} \quad (1)$$

## 2 数据获取

经过试验设计和路径测试，使用多台摄像机记录驾驶人的动作、车辆运行轨迹和交通环境，利用GPS系统记录车辆运行速度和所处位置。由27位驾驶人在黑龙江省哈尔滨市市区道路展开实测实验，其中，女性驾驶人平均年龄为33岁，最小21岁，最大50岁，年龄标准差为8岁；男性驾驶人平均年龄为36岁，最小21岁，最大58岁，年龄标准差为11岁。所有驾驶人都有合格的驾驶证件，平均驾龄9年，并声明所有参加者在实验过程中有任何不适感觉都可以自愿退出实验。经过57个工作日的实验，获得各类数据6.2万条，有效数据占83%以上。

## 3 小型客车换道模型

小型客车是城市道路交通高峰时段的主要车型，调查中所占比例达到85%以上。小型客车在交通拥堵状态下三种换道类型的比例构成如表1所示，表中列出不同压力系数下斜插型、挤压型和并行型换道的比例分布。可以看出，随着交通拥堵压力系数提高大致呈现：斜插型比例先增加后降低，挤压

型比例逐步降低，并行型比例逐步升高。

由表1中数据回归分析得到小型客车交通拥堵状态下三种换道类型比例与交通拥堵压力系数间的量化关系，其线性和二次多项式模型见表2。由拟合优度的高低可知，三种换道类型比例与交通拥堵压力系数的关系均更加趋向于二次多项式模型。

#### 4 大型客车换道模型

大型客车(含公共汽车)是交通高峰时段城市道路车型的重要组成部分，调查中所占比例为5.3%。大型客车在交通拥堵状态下三种换道类型的比例构成如表3所示，不同压力系数下斜插型、挤压型和并行型换道的比例分布呈现不同规律。

依据表3中不同压力系数下大型客车斜插型、挤压型和并行型换道比例，采用线性回归和二次多项式模型回归，得到各类换道比例与交通拥堵压力系数间的量化关系模型，见表4。在大型客车三种类型换道比例与交通拥堵压力系数的关系模型中，二次多项式的拟合优度更高；与小型客车相比，其拟合优度有所降低。

#### 5 小型货车换道模型

小型货车是交通高峰时段城市道路车型的主要组成部分，调查中所占比例为5.8%。小型货车在不同交通拥堵压力系数下的换道比例如表5所示。

回归得到各类换道比例与交通拥堵压力系数间的量化关系模型，见表6。在小型货车三种类型换道比例与交通拥堵压力系数的关系模型中，二次多项式的拟合优度最高。小型货车在机动性和可控性上与客车，尤其是小客车间存在较大差异，这种差异使小型货车在交通拥堵状态下斜插型、挤压型和并行型换道的比例分布更加离散，具体体现为回归模型的R<sup>2</sup>值偏低。

#### 6 结语

本文从分析交通拥堵对驾驶人换道特性的影响过程入手，指出交通拥堵状态下驾驶人会选择直接换道或不良换道，并且将在新的车道中面临对交通状态的再次判断，形成一个“认知—判断—动作—新环境—再认

表4 大型客车换道比例与交通拥堵压力系数的关系

Tab.4 Relationship between the proportion of lane change of large bus and the level of traffic congestion

换道类型	拟合类型	公式	R <sup>2</sup>
L <sub>1</sub>	线性	$P(L_1) = -0.0608\chi_{press} + 0.2354$	0.1204
	二次多项式	$P(L_1) = -0.9119\chi_{press}^2 + 1.1137\chi_{press} - 0.1174$	0.8043
L <sub>2</sub>	线性	$P(L_2) = -0.1854\chi_{press} + 0.5268$	0.5886
	二次多项式	$P(L_2) = 0.6379\chi_{press}^2 - 1.007\chi_{press} + 0.7736$	0.7645
L <sub>3</sub>	线性	$P(L_3) = 0.2462\chi_{press} + 0.2377$	0.7441
	二次多项式	$P(L_3) = 0.2738\chi_{press}^2 - 0.1064\chi_{press} + 0.3437$	0.7673

表5 小型货车换道比例的变化

Tab.5 Change of lane changing proportion of minivan

压力系数 $\chi_{press}$	斜插型 $P(L_1)$	挤压型 $P(L_2)$	并行型 $P(L_3)$	合计
0.38	0.1191	0.4731	0.4078	1.0000
0.39	0.1255	0.5433	0.3312	1.0000
0.42	0.1939	0.5248	0.2813	1.0000
0.45	0.2072	0.4913	0.3015	1.0000
0.47	0.2382	0.3927	0.3691	1.0000
0.49	0.1344	0.4324	0.4332	1.0000
0.53	0.1452	0.3515	0.5033	1.0000
0.56	0.1893	0.4853	0.3254	1.0000
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
0.61	0.1878	0.3799	0.4323	1.0000
0.64	0.2360	0.3660	0.3980	1.0000
0.67	0.1853	0.4035	0.4112	1.0000
0.72	0.0457	0.4702	0.4841	1.0000
0.75	0.1499	0.4624	0.3877	1.0000
0.86	0.1518	0.3262	0.5220	1.0000
0.88	0.1217	0.4523	0.4260	1.0000
0.92	0.1559	0.4183	0.4258	1.0000
平均	0.1625	0.4347	0.4028	1.0000

表6 小型货车换道比例与交通拥堵压力系数的关系

Tab.6 Trend of lane changing proportion of minivan

换道类型	拟合类型	公式	R <sup>2</sup>
L <sub>1</sub>	线性	$P(L_1) = -0.0625\chi_{press} + 0.2004$	0.0509
	二次多项式	$P(L_1) = -0.3756\chi_{press}^2 + 0.4212\chi_{press} + 0.0551$	0.0973
L <sub>2</sub>	线性	$P(L_2) = -0.1508\chi_{press} + 0.5262$	0.1829
	二次多项式	$P(L_2) = 0.7736\chi_{press}^2 - 1.1472\chi_{press} + 0.8255$	0.3044
L <sub>3</sub>	线性	$P(L_3) = 0.2133\chi_{press} + 0.2735$	0.3019
	二次多项式	$P(L_3) = -0.3982\chi_{press}^2 + 0.7262\chi_{press} + 0.1194$	0.3284

知”的闭合环路。基于大量实测数据,构建小型客车、大型客车和小型货车在城市交通拥堵状态下三种换道类型构成比例与压力系数的关系模型。研究表明,交通拥堵对小型客车、大型客车和小型货车的换道行为特性影响显著。与小型、大型客车比较,小型货车在交通拥堵状态下斜插型、挤压型和并行型换道的比例分布更加离散。

由小型客车、大型客车和小型货车在城市交通拥堵状态下三种换道类型比例与交通拥堵压力系数的关系模型表达式,可以根据车辆在不同时段的运行速度计算出斜插型、挤压型和并行型换道的比例。其中,斜插型换道导致严重的交通冲突,在实际中可以设置安全阈值对其进行提前警示,提醒驾驶人在拥堵状态下注意行车安全,放松心情,降低斜插型换道行为的发生率。

本文基于换道导致冲突的严重程度对驾驶人换道进行分类,在数据处理过程中有些冲突很难界定,尤其是一般冲突与轻微冲突间的差异不明显,导致数据的精密程度有所降低;此外,所采用的线性和二次多项式模型在小货车的换道分析中,回归模型的拟合优度偏低,下一步将着重考虑数学模型的选择,以得到更好的拟合结果。

#### 参考文献:

#### References:

- [1] 杨梅. 天津市城市交通拥挤问题及道路交通管理对策研究 [D]. 天津: 天津大学, 2005.
  - [2] 庄斌, 杨晓光, 李克平. 道路交通拥挤事件判别准则与检测算法[J]. 中国公路学报, 2006, 19(3): 82-86.  
Zhuang Bin, Yang Xiaoguang, Li Keping. Criterion and Detection Algorithm for Road Traffic Congestion Incidents[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(3): 82-86.
  - [3] 刘智丽, 李春艳, 李成. 大城市施行交通拥挤费的交通影响分析[J]. 交通运输系统工程与信息, 2009, 9(6): 57-62.
  - [4] 王殿海, 别一鸣, 宋现敏, 等. 信号交叉口最大周期时长优化方法[J]. 吉林大学学报(工学版), 2010, 40(增刊): 148-151.  
Wang Dianhai, Bie Yiming, Song Xianmin, et al. Maximum Cycle Length Optimization Method of Signalized Intersection[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2010, 40(S): 148-151.
  - [5] Karandeep Singh, Baibing Li. Estimation of Traffic Densities for Multilane Roadways Using a Markov Model Approach[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2012, 59(11): 4369-4376.
  - [6] Karandeep Singh, Baibing Li. Discrete Choice Modelling for Traffic Densities with Lane-Change Behaviour[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2012, 43: 367-374.
  - [7] 黄秋菊. 车道变换行为特性及其对交通安全影响的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.  
Huang Qiuju. Study on Lane Change Behavior Character and Its Influence to Traffic Safety [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2007.
  - [8] 魏丽英, 隽志才, 田春林. 驾驶员车道变换行为模拟分析[J]. 中国公路学报, 2001, 14(1): 77-80.  
Wei Liying, Juan Zhicai, Tian Chunlin. Simulation Analysis of Driver's Lane-changing Behavior[J]. China Journal of Highway and Transport, 2001, 14(1): 77-80.
  - [9] Qi Weiwei, Pei Yulong, Song Mo, Bie Yiming. Pattern Analysis of Driver's "Pressure-State-Response" in Traffic Congestion[J]. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2013(2013): 1-11.
- 
- (上接第2页)
- [2] 陆锡明. 亚洲城市交通模式[M]. 上海: 同济大学出版社, 2009.  
Lu Ximing. Asian Urban Transport Model [M]. Shanghai: Tongji University Press, 2009.
  - [3] 上海市城市综合交通规划研究所. 上海市综合交通年度报告[R]. 上海: 上海市城市综合交通规划研究所, 2012.
  - [4] 陆锡明, 陈必壮, 顾煜, 等. 上海交通战略规划研究[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.  
Lu Ximing, Chen Bizhuang, Gu Yu, et al. Study on Shanghai Transport Strategy Planning[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.