

城市道路自由车速与车道宽度关联性分析

马莹莹, 杨晓光, 曾 滢

(同济大学 交通工程系, 上海 201804)

摘要: 通过对城市道路路段及交叉口出口道自由车速的特性分析, 获得自由车速与车道宽度的关联性. 选取杭州市交通设施相似、车道宽度不同的 9 条道路进行车速调查, 并采用视频检测及图像识别技术提取车速数据. 经数据分析得出, 路段及交叉口出口的自由车速服从正态分布, 且特征车速随车道宽度增加有上升趋势; 建立车道宽度对车速离散情况影响模型, 得出交叉口出口及路段车速离散情况随车道宽度的变化趋势. 研究结论说明, 合理设置道路车道宽度有利于限制车速和提高道路安全性, 还可以为城市交通流建模及城市交通管理提供依据.

关键词: 交通工程; 城市道路; 机动车道宽度; 分布特性; 统计分析

中图分类号: U 491.2

文献标识码: A

Association Analysis of Urban Road Free-flow Speed and Lane Width

MA Yingying, YANG Xiaoguang, ZENG Ying

(Department of Traffic Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Relationship between free-flow speed and lane width is analyzed by studying characteristics of free-flow speed of urban road sections and exit lane at intersections. Field data of speed are collected from 9 roads with similar facility and different lane width in the urban area of Hangzhou by using video detection and recognition technology. The data show that the free-flow speeds obey the normal distribution, and the characteristic speed increases with the lane width. A model is established to describe the relationship between lane width and the speed discreteness. According to this model, the trend of speed discreteness is presented. The conclusion shows that reasonable value of lane width is beneficial to restricting running speed and improving road safety. This research also contributes in urban traffic flow modeling and traffic

management.

Key words: traffic engineering; urban road; lane width; distribution characteristics; statistic analysis

车辆或车流的速度(简称车速)是交通工程学范畴内一个重要的基本参数, 其特征对道路通行能力、交通安全、交通管理与控制和道路规划设计有着直接的影响. 车速是度量交通设施服务功能的一项重要指标, 它综合地反映了这些设施的功能、质量和服务水平的状况^[1]. 城市道路自由车速是指不受交叉口排队、进出交通等因素影响的, 自由行驶车辆的速度. 其速度主要取决于道路条件、车辆性能、驾驶员行为特性等. 在相同道路和交通条件下, 不同驾驶员选择的行驶速度可能不同. 当统计数据足够多时, 统计车速服从一定的分布规律, 驾驶员个体行为对车速的影响减弱, 代之以驾驶员的整体行为, 它受到道路交通条件的影响, 这对于城市道路交通流特性的研究具有重要的意义.

在城市道路中, 路面状况、照明等条件相似的情况下, 车道宽度成为影响车辆运行速度的主要因素. 为了寻求不同车道宽度对车速的影响, 选取道路条件相似但车道宽度不同的道路进行车速调查, 得出不同车道宽度下车速的分布特性, 为城市道路合理车道宽度的确定提供依据.

国外对于车速与车道宽度的研究由来已久, 最初起源于各级公路, 根据调查数据得到车道宽度—车速影响模型, 为城市道路的车道宽度设计提供了依据. 1983 年, Clinton L. Heimbach 等通过对无中央分隔带的双向 4 车道的城市道路分析得出以下结论: 非高峰期, 在其他条件保持不变的情况下, 车道宽度每减少 0.3 m, 平均车速约降低 0.97 km·

收稿日期: 2008-09-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50578123)

作者简介: 马莹莹(1983—), 女, 博士生, 主要研究方向为城市交通控制. E-mail: 2_mayingying@tongji.edu.cn

杨晓光(1959—), 男, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为交通系统工程. E-mail: yangxg@tongji.edu.cn

h^{-1} ^[2]. Yagar Sam 等发现当车道宽度在 3.96 m 以内时,宽度每减少 0.3 m,速度减少 $1.76 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ^[3]. Kay Fitzpatrick 等指出,郊区道路中,在没有限速标志的直行路段,车道宽度是影响驾驶车速的显著因素.在双向 4 车道的干道中,车道宽度每增加 0.3 m,85%位车速提高 $4.64 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ^[4].以上研究都试图寻找车道宽度对车速的影响关系,从研究结论可以看出,总体趋势为在一定范围内,车道宽度越窄,车速越慢.但是由于调查对象及环境的不同,其影响程度存在差异.国内对于车速特性的研究主要集中在公路和城市快速路上,通过对北京、上海、广州等地的城市快速路车速调查与分析,获得快速路车速的分布特性及离散情况,为快速路的设计和管理提供依据^[5-6].但由于城市道路交通属于间断交通流,其车速的分布特性有别于公路和城市快速路.国外对城市道路车道宽度与车速关系的研究因国内外驾驶环境与驾驶行为的不同而不能直接用于国内车道的设计中.

1 数据采集与处理

1.1 调查地点选择

为使观测数据尽可能地接近路段自由车速,且能够分析车道宽度与车速分布的关系,选取杭州市 9 条道路进行车速调查,观测路段的车道宽度如表 1 所示.选取地点符合如下条件:路面和交通设施条件相似;各路段车种比例构成相似;机动车行驶受非机动车和行人的干扰较小;观测路段无进出交通,不受交叉口排队影响,周边没有交通异常事件发生.

表 1 车速观测点特性表
Tab.1 Characteristic of survey roads

| 道路 编号 | 道路名称 | 单车道 宽度/m | 路幅 版面 | 单向车 道数 | 限速/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$) |
|----------|---------------|-------------|----------|-----------|--|
| 1 | 庆春路(近交叉口出口段) | 3.20 | 4 | 3 | 40 |
| 2 | 环城西路(近交叉口出口段) | 3.25 | 3 | 3 | 40 |
| 3 | 文二路(近交叉口出口段) | 3.30 | 1 | 4 | 40 |
| 4 | 建国路(近交叉口出口段) | 3.50 | 2 | 3 | 40 |
| 5 | 古翠路(近交叉口出口段) | 3.60 | 3 | 2 | 40 |
| 6 | 庆春路路段 | 3.50 | 4 | 3 | 40 |
| 7 | 建国路路段 | 3.60 | 2 | 3 | 40 |
| 8 | 教工路路段 | 4.00 | 3 | 2 | 40 |
| 9 | 机场路路段 | 4.00 | 4 | 2 | 50 |

1.2 调查时间的选择

当车辆以车队形式行驶的时候,其车速受到车队首车运行速度的影响^[7].因此,为测得调查路段自由流车速,应选择非高峰、非拥挤时段调查,而且选择晴好天气进行.本次调查选择时间为上午 9:00~11:00 和下午 14:00~16:00.

1.3 数据采集方法

为便于车速数据的量测,本研究采用视频摄像方法采集数据,借助同济大学宽带无线通信与多媒体实验室和美国联合技术研究中心(United Technologies Research Center)合作设计的“智能交通系统(ITS system)”图像识别软件进行车速测算.该软件的车辆漏检率小于 1%,车辆重检率小于 6.5%,车速检测精度大于 95%,其采样频率大于 $20 \text{ bit} \cdot \text{s}^{-1}$,且无需知道摄像机内构参数.

本研究利用智能交通系统图像识别软件,将录像中观测路段每 10 m 作为一个观测断面,提取地点车速值.

2 车速特性与车道宽度关联性分析

2.1 调查地点交通流特征分布

本次调查对象为社会车道,不包含公交专用道.由于交通流中的大巴比例及流量都会对车辆的平均车速造成影响,因此应选择相近的大巴比例路段进行调查.表 2 为各调查点的大巴比例及单车道交通流量情况.

表 2 调查地点交通流特征分布表
Tab.2 Distribution of traffic flow Characteristic
in survey roads

| 调查路段编号 | 大巴比例/% | 单车道流量/($\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1}$) |
|--------|--------|--|
| 1 | 15 | 350 |
| 2 | 11 | 311 |
| 3 | 16 | 422 |
| 4 | 18 | 297 |
| 5 | 22 | 318 |
| 6 | 21 | 404 |
| 7 | 17 | 201 |
| 8 | 13 | 248 |
| 9 | 20 | 230 |

2.2 车速分布与车道宽度关联性

对车速的统计分析,将借助车速分布直方图、车速频率分布图和累计频率分布图来进行.以 1 号观测路段——庆春路(近交叉口出口段)观测数据为

例,说明车速分布特性的分析过程.

庆春路选取 60 m 长路段进行录像拍摄,每 10 m 为一个测试点进行视频识别,获得车辆地点车速.以 1 号路段 1 号观测点数据为例,该点共得到 1 290 个车辆速度数据,地点车速分布如图 1 所示.从图中可以看出,大部分观测车辆的速度在 30~60 km·h⁻¹.对其进行频数统计,共取 13 组速度进行频数统计,组距为 5 km·h⁻¹,如表 3 所示.地点车速频率分布表如表 4.

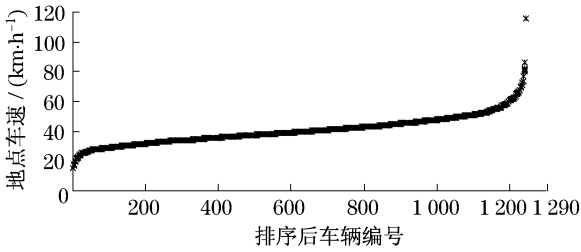


图 1 地点车速分布图
Fig.1 Speed distribution

表 3 车辆速度分布统计表
Tab.3 Speed distribution

| 速度范围/(km·h ⁻¹) | <20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | >75 |
|----------------------------|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|-----|
| 频数 | 4 | 12 | 52 | 151 | 282 | 310 | 241 | 139 | 62 | 23 | 8 | 3 | 2 |

表 4 车速频率分布表
Tab.4 Speed frequency distribution

| 速度分组/(km·h ⁻¹) | 组中值 | 观测频数 | 累计频数 | 观测频率/% | 累计频率/% |
|----------------------------|------|-------|-------|--------|--------|
| <20 | 17.5 | 4 | 4 | 0.31 | 0.31 |
| 20~25 | 22.5 | 12 | 16 | 0.93 | 1.24 |
| 25~30 | 27.5 | 52 | 68 | 4.03 | 5.28 |
| 30~35 | 32.5 | 151 | 219 | 11.71 | 16.99 |
| 35~40 | 37.5 | 282 | 501 | 21.88 | 38.87 |
| 40~45 | 42.5 | 310 | 811 | 24.05 | 62.92 |
| 45~50 | 47.5 | 241 | 1 052 | 18.70 | 81.61 |
| 50~55 | 52.5 | 139 | 1 191 | 10.78 | 92.40 |
| 55~60 | 57.5 | 62 | 1 253 | 4.81 | 97.21 |
| 60~65 | 62.5 | 23 | 1 276 | 1.78 | 98.99 |
| 65~70 | 67.5 | 8 | 1 284 | 0.62 | 99.61 |
| 70~75 | 72.5 | 3 | 1 287 | 0.23 | 99.84 |
| >75 | 77.5 | 2 | 1 289 | 0.16 | 100.00 |
| 小计 | | 1 289 | | 100.00 | |

为了直观观察观测点速度分布规律,绘制速度分布直方图和地点车速累计频率曲线,见图 2 和图 3.

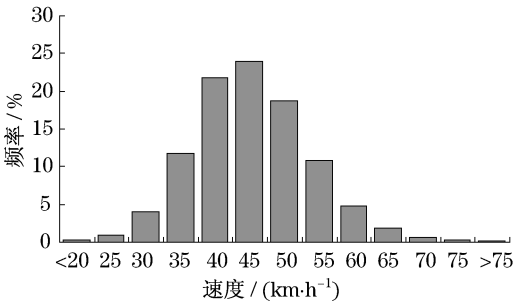


图 2 地点车速分布直方图
Fig.2 Distribution histogram

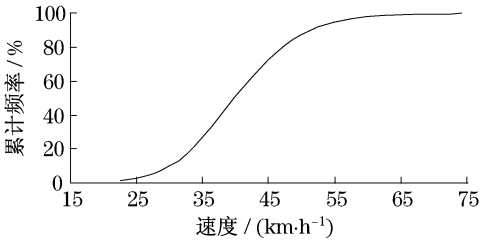


图 3 地点车速累计频率曲线
Fig.3 Cumulative frequency curve

根据直方图的分布规律,初步判定该断面车速分布服从正态分布.用 SPSS 统计分析软件对观测数据进行概率分布检验,可得 P-P 概率分布图和 Q-Q 概率分布图,如图 4 和图 5 所示.

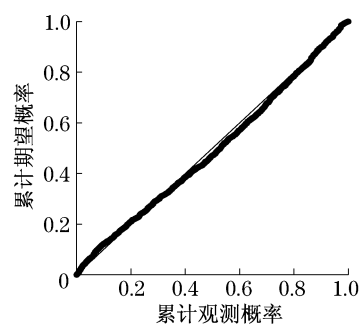


图 4 P-P 概率分布图

Fig.4 P-P probability plots

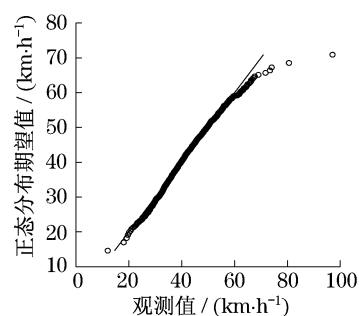


图 5 Q-Q 概率分布图

Fig.5 Q-Q probability plots

正态分布 P-P 图和 Q-Q 图是用来检验变量是否符合正态分布的,如果符合正态分布,各变量分布近似一条直线(正态分布的期望值)^[8].从检验图中可以看出,该断面观测车速值基本符合正态分布.

取置信水平为 95%,对观测车速分布进行正态分布拟合,可得观测车速服从 (\bar{v}, r) 的正态分布^[9],如下式:

$$f(v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}r} \exp\left[-\frac{(v - \bar{v})^2}{2r^2}\right] \quad (1)$$

式中:平均速度 $\bar{v} = 42.7477$,标准差 $r = 8.5308$.

根据以上方法对各调查地点车速进行统计,得各调查点特征车速如表 5 和图 6 所示.

表 5 各调查点特征车速列表

Tab.5 Characteristic speed of survey roads

| 道路编号 | 车道宽度/m | 平均速度/ (km·h ⁻¹) | 85%位车速/ (km·h ⁻¹) |
|------|--------|--------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 3.20 | 41.25 | 50.62 |
| 2 | 3.25 | 34.27 | 42.41 |
| 3 | 3.30 | 40.20 | 52.06 |
| 4 | 3.50 | 36.54 | 44.10 |
| 5 | 3.60 | 35.63 | 56.06 |
| 6 | 3.50 | 41.68 | 49.88 |
| 7 | 3.60 | 48.31 | 58.46 |
| 8 | 4.00 | 50.15 | 59.12 |
| 9 | 4.00 | 50.19 | 60.69 |

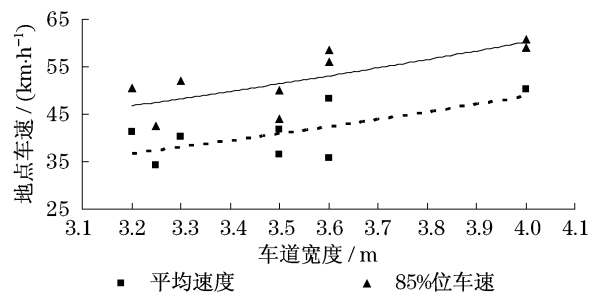


图 6 各调查路段车速分布图

Fig.6 Speed of survey roads

从图 6 可以看到,随着车道宽度的增加,平均车速和 85%位车速都呈上升趋势.该结论与国外相关研究结论相同.当车道宽度在 3.2~3.5 m 时,平均车速较为分散,在 35~45 km·h⁻¹ 范围上下波动;当车道宽度大于 3.5 m 时,平均车速提高到 50 km·h 左右.85%位车速的分布也与平均车速相似,但更为发散.

值得注意的是观测路段 3 车道宽度为 3.3 m,其特征车速高于车道宽度为 3.5 m 的路段 4 的车速,这说明制约后者车速的因素已不是车道宽度.从该分布情况来看,在 3.2~3.5 m 范围内,很可能车道宽度已经不是影响车速的主要因素.

从实地观测数据数值上来看,不同宽度(3.2~4.0 m)的车道平均车速的高值(即同一宽度较大的车速值)均超过或接近限速值;85%位车速一般作为道路限速依据,而在观测路段中,85%位车速的高值则较大幅度超过限速值,即使在车道宽度为 3.2 m 时也超出限速 26.5%.

2.3 车速离散情况与车道宽度关联性

车速是诱发交通事故的重要因素之一.研究表明,车速的离散情况对交通事故率的影响非常显著^[10-11].笔者通过分析调查车速的离散情况获得车道宽度与车速离散情况的关系,从车辆运行的安全角度为车道宽度的设置提供依据.

由于靠近交叉口出口路段可能会受到交叉口等因素的影响,与路段车速的离散情况不同,将调查道路分为 2 组,第 1 组为近交叉口出口路段,包括道路 1,2,3,4,5;第 2 组为普通路段,包括道路 6,7,8,9.采用 2 个指标分析车速离散情况:车速方差 D ,相邻车辆速度差的平方 S .

2.3.1 车速方差分析

车速的方差 D 反应了各调查车速与平均车速的偏离程度,公式如下:

$$D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2 \quad (2)$$

第 1 组(近交叉口出口路段)车速方差如表 6 及图 7 所示. 当车道宽度在 3.2~3.6 m 时,近交叉口出口路段车速方差随车道宽度的增加无规律性. 这表明,在靠近交叉口出口路段,车道宽度并不是影响车速方差的主要原因.

表 6 近交叉口出口路段车速方差表
Tab.6 Speed variance of exit lane at intersections

| 道路编号 | 车道宽度/m | 平均车速/ (km·h ⁻¹) | 速度方差/ (km·h ⁻¹) ² |
|------|--------|--------------------------------|---|
| 1 | 3.20 | 41.25 | 107.41 |
| 2 | 3.25 | 34.27 | 72.46 |
| 3 | 3.30 | 40.20 | 129.45 |
| 4 | 3.50 | 36.54 | 64.85 |
| 5 | 3.60 | 35.63 | 117.61 |

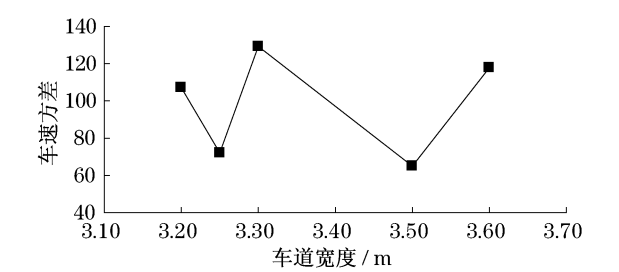


图 7 近交叉口出口路段车速方差分布图
Fig.7 Speed variance of exit lane at intersections

第 2 组(普通路段)的车速方差如表 7 所示,车速方差分布图如图 8 所示. 路段车道宽度在 3.5~4.0 m 时,平均车速及车速方差均随车道宽度的增加而呈上升趋势,说明当路段车道宽度增加时,平均车速与车速方差变化趋势相同,车速的整体离散程度增大,不利于车辆的安全运行.

表 7 路段车速方差表
Tab.7 Speed variance of road sections

| 道路编号 | 车道宽度/m | 平均车速/ (km·h ⁻¹) | 速度方差/ (km·h ⁻¹) ² |
|------|--------|--------------------------------|---|
| 6 | 3.5 | 41.68 | 74.63 |
| 7 | 3.6 | 48.31 | 101.13 |
| 8 | 4.0 | 50.15 | 106.91 |
| 9 | 4.0 | 50.19 | 124.65 |

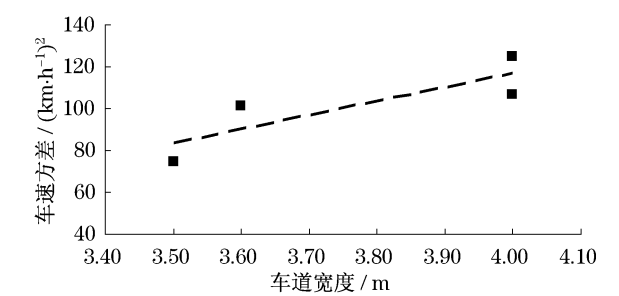


图 8 路段车速方差分布图
Fig.8 Speed variance of road sections

2.3.2 相邻车辆速度差的平方

为描述道路上相邻车辆的速度变化情况,即通过道路上某一断面的相邻车辆的速度差异,本文定义了参数 S ,如下式:

$$S = \frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n (v_i - v_{i-1})^2 \tag{3}$$

式中: n 为观测车速样本数; v_i 为第 i 辆通过观测断面车辆的车速.

可以看出, S 为通过观测断面的相邻车辆速度差的平方的均值,该参数考虑了车辆通行的次序,与速度方差相比,更能表征车速在某一道路断面的分布情况,对于交通安全的研究也比较有意义.

第 1 组车速的 S 值分布如图 9 所示. 车道宽度在 3.2~3.6 m 时,随着车道宽度的增加, S 值先降低,后增加. 即在近交叉口出口路段,随着车道宽度的增加,相邻车辆的速度差异先减小,后增大. 对已有各车道宽度对应的 S 值进行趋势分析,采用二次函数曲线拟合,其关系为

$$\begin{cases} S = 2\,622d^2 - 17\,675d + 29\,839, \\ 3.2\text{ m} < d < 3.6\text{ m} \\ R^2 = 0.992\,6, 0 \leq R^2 \leq 1 \end{cases} \tag{4}$$

式中: d 为车道宽度; R^2 为决定系数,取 0~1,等于或接近于 1 时拟合的可靠性最高.

从拟合曲线可以看出,当近交叉口出口路段的车道宽度在 3.37 m 附近时, S 值达到最小,即此时通过断面的相邻车速差异最小.

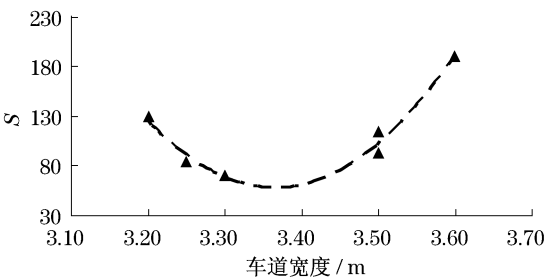
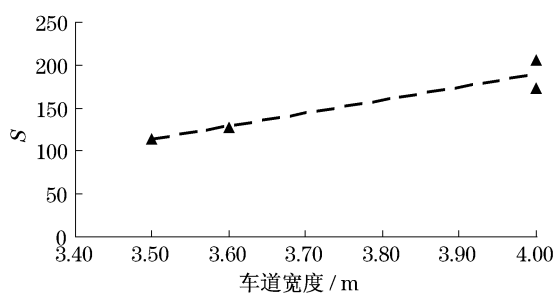


图 9 近交叉口出口路段 S 值分布图
Fig.9 S of exit lane at intersections

第 2 组车速的 S 值分布如图 10 所示,车道宽度在 3.5~4.0 m 时,随着车道宽度的增加, S 值也不断增加,即在普通路段,随着车道宽度的增加,相邻车辆的速度差异增大.

图 10 普通路段 S 值分布图Fig.10 S of road sections

3 结论

(1) 城市道路路段自由车速符合正态分布特性.

(2) 在交通设施条件相似的条件下,车道宽度成为影响驾驶员选择车速的重要影响因素,随着车道宽度的增加,地点平均车速呈上升趋势.

(3) 在近交叉口出口路段,当车道宽度在 3.2~3.6 m 时,随着车道宽度的增加,地点车速的方差没有明显规律,但相邻车辆的速度差异先减小、后增大,且当车道宽度在 3.3~3.4 m 时,达到最小值.

(4) 在普通路段,当车道宽度在 3.5~4.0 m 时,随车道宽度的增加,地点车速方差及相邻车辆的速度差异都增加,即地点车速的离散性增大.

综上所述,车道宽度取值不宜过宽,合理设置道路车道宽度有利于限制车速和提高道路安全性.

以上结论可以为城市道路路段自由车速调查、交叉口出口车道宽度和路段车道宽度的设置提供依据,并为城市交通管理措施的制订提供理论支持.

参考文献:

[1] 中国公路学会《交通工程手册》编委会. 交通工程手册[M]. 北京:人民交通出版社,1998.

Editorial Committee of Traffic Engineering Manual of Highway and Transportation Society of China. Traffic engineering manual[M]. Beijing:China Communications Press, 1998.

[2] Heimbach C L, Cribbins P D, Chang M-S. Some partial consequences of reduced traffic lane widths on urban arterials [J]. Transportation Research Record, 1983(923):69.

[3] Yagar S, Van Aerde M. Geometric and environmental effects on speeds of 2-lane highways [J]. Transportation Research, Part A:General, 1983, 17A(4):315.

[4] Fitzpatrick K, Carlson P, Brewer M, et al. Design factors that affect driver speed on suburban streets [J]. Transportation Research Record, 2001(1751):18.

[5] 钟连德, 荣建, 周荣贵, 等. 快速路交通流中车速特性研究 [J]. 公路, 2004(12):158.

ZHONG Liande, RONG Jian, ZHOU Ronggui, et al. A study on speed characteristics of traffic stream in express roads [J]. Highway, 2004(12):158.

[6] 白旭, 曾胜男, 杜豫川, 等. 城市快速路自由流车速研究 [J]. 交通与运输, 2006(12):28.

BAI Xu, ZENG Shengnan, DU Yuchuan, et al. The research of urban expressway free-flow velocity [J]. Traffic & Transportation, 2006(12):28.

[7] Macbeth A G. Calming arterials in toronto [C]// ITE Annual Meeting Compendium. Washington D C:[s. n.], 1998.

[8] 郝黎仁, 樊元, 郝哲欧, 等. SPSS 实用统计分析 [M]. 北京:中国水利水电出版社, 2003:355-357.

HAO Liren, FAN Yuan, HAO Zheou, et al. SPSS practical statistic analysis [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2003: 355-357.

[9] 盛骤, 谢式千. 概率论与数理统计 [M]. 2 版. 北京:高等教育出版社, 1989:53-57.

SHENG Zhou, XIE Shiqian. Probability and statistics [M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 1989:53-57.

[10] Solomon D. Accidents on main rural highways related to speed, drivers, and vehicle [R]. Washington: Bureau of Public Roads, 1964.

[11] 裴玉龙, 程国柱. 高速公路车速离散性与交通事故的关系及车速管理研究 [J]. 中国公路学报, 2004, 17(1):74.

PEI Yulong, CHENG Guozhu. Research on the relationship between discrete character of speed and traffic accident and speed management of freeway [J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(1):74.