

历史街区自行车交通特性研究

王秋平, 张 译, 孙 皓

(西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 采用实地调查和网络问卷调查的方式获取相关交通数据, 以西安市历史街区为例, 对历史街区自行车交通特性进行了研究. 得到历史街区自行车的到达特征如骑行者年龄、到达时段、到达距离、到达时耗等特征; 自行车的速度特性; 建立了自行车流速度、密度和交通量三要素之间的函数关系并进行拟合验证; 得出路段内机非摩擦干扰对自行车流的干扰特性以及交叉口右转机动车对过街自行车流和单辆自行车的干扰特性. 通过对历史街区自行车流的定量与定性研究, 其成果为街区及路网规划、改善设计、交通组织提供参考, 对进一步构建历史街区慢行交通数据库提供数据基础.

关键词: 交通工程; 历史街区; 自行车交通特性; 机非混合交通流

中图分类号: U121

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2016)02-0227-07

Research on the historical block bicycle traffic characteristics

WANG Qiuping, ZHANG Yi, SUN Hao

(School of Civil Engineering, Xi'an Univ. Of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: With the method of field observation survey and network survey methods to obtain relevant traffic and based on historical blocks of Xi'an City, the bicycles' transportation characteristics in the historical block was studied. Conclusion was come up with the bicycle arrival characteristics of historical block, such as the age bicycle rider, time and distance of arrival etc; the speed characteristics of bicycle. The function relation of bicycle's three elements-- traffic flow rate, density, traffic volume was established. The friction interference between motor vehicle and non-motor vehicle in the historical block section, the interference between right-turn motor vehicle and bike with bicycle flow in the historical blocks, intersection were basically derived. Through the qualitative and quantitative study of bicycle traffic in the historical block, it provides important reference basis of historic blocks' network planning, and this helps improve the design and traffic organization. It also provides a data basis for constructing the database of slow traffic in the historical blocks.

Keywords: traffic engineering; historical block; bicycle traffic characteristics; mixed traffic flow

历史街区是指具有一定规模, 能够反映一定历史阶段的传统风貌、社会文化、民俗特色的街区^[1-4]. 历史街区分为已有历史街区和再造历史街区. 已有历史街区是指对原有的历史街区遗迹进行保留不变或小范围修复改造的历史街区; 再造历史街区是在历史遗址之上兴建的仿古街区. 历史街区是人们旅游、休闲消费的主要场所, 服务的人流量较大, 慢行交通问题突出. 在传统的自行车交通流特性研究中, 韩宝睿等人针对电动自行车的交通流特性进行研究, 以交通调查为基本手段. 深入研究电动自行车的有关交通特性; 单晓峰等对非拥挤路段自行车交通流特性进行研究, 确定车道宽度与密度的关系, 并建立车道宽度-密度回归模型; 梁春岩深入对自行车交通流的集群特性进行深入研究, 建立了停车波交通波模型, 并对机非混行信号控制交叉口信号配时进行研究; 黄海军验证了自行车交通流的基本模型, 说明了自行车流基本三参数关系;

王丹针对路段非机动车交通特性进行了研究, 对路段非机动车的基本特征、交通流三参数的特性、时空分布特性、速度特性及横向分布特性进行阐述^[5-9]. 已有关于自行车交通流特性的研究大多针对城市的一般道路, 并没有专门针对历史街区内的自行车交通特性进行相关研究. 因历史街区内的道路类型、自行车骑行特性及自行车流、出行者出行特征等都与一般城市道路不同, 因此应对历史街区的自行车交通特性进行专门研究, 本文通过交通调查、建立分析模型, 得到历史街区自行车交通特性的相关数据和相关关系模型, 为历史街区自行车交通的规划和改善提供定性和定量的依据.

1 历史街区自行车交通特性调查

1.1 调查点选取

本文选取西安市历史街区为研究对象, 选取已有历史街区的湘子庙片区(如图 1(a)), 再造历史街

区的大唐不夜城片区(如图 1(b))和大唐西市片区(如图 1(c))为观测区域。



(a)



(b)



(c)

图 1 调查片区以及调查点

Fig.1 Survey area and survey point

如图 1 中三个图中的标记点为观测点, 湘子庙片区观测点如图分别为: 湘子庙街、大车家巷、粉巷、竹笆市、西木头市、马坊门、南院门。大唐不夜城观测点如图分别为雁塔南路(北段)、雁南一路、雁塔南路(南段)、雁南二路。大唐西市观测点如图分别为西市南街、西市西街、西市北路、西市南路。

1.2 调查内容及调查方法

历史街区自行车交通特性调查的主要内容及相应方法如下:

(1) 自行车到达历史街区的时耗、距离、到达时间。采用网络问卷调查法, 共收回 208 份, 有效问卷为 196 份。

(2) 历史街区内自行车的速度。采用摄影法进行调查: 首先在各调查点选取大于等于 10 米的观测段, 将观测段内自行车运行状况录制为视频; 然后根据年龄、性别、不同道路类型随机选取样本; 最后统计出样本在距离段内的时间, 观测段距离除以时间可得到样本的速度。

(3) 路段和交叉口自行车交通流的速度、密度、交通量。采用摄影法进行调查: 首先对路段和交叉口自行车流的情况录制视频, 录制时长为 30min; 然后统计视频中通过观测点的自行车数量, 得出自行车交通量, 统计时刻未停留在观测区域内的自行车, 除以观测区域面积, 得到交通流密度, 每个自行车流行走的距离除以在观测区域内的行走时间即为自行车流速度^[10]。

(4) 历史街区道路的路宽, 横断面形式, 交叉口红绿灯设置等交通条件, 采用实地观测记录法进行调查。

2 历史街区自行车到达特征

到达历史街区的自行车有着独特的特性, 通过调查分析后可以得到以下四方面特征:

(1) 自行车骑行者年龄特征

通过 196 份网上调查问卷可得骑行者年龄段分布图 2, 可以看出历史街区骑行者主要年龄为青年, 占调查人数的近一半。

(2) 历史街区自行车到达时间段特性

通过对已有历史街区和再造历史街区的大唐不夜城片区的观测点进行观测, 从早晨 7 点到晚上 21 点对交通量进行统计, 绘出趋势图如图 3。可以看出: 已有历史街区的自行车交通量高峰期在早晨 8 点和晚上 18 点左右; 再造历史街区的自行车交通量高峰期在晚上 17 点以后。

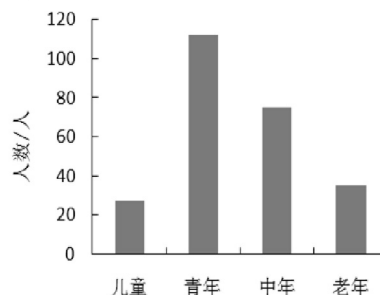


图 2 不同年龄段骑行者人数柱状图

Fig.2 Histogram of different age rider number

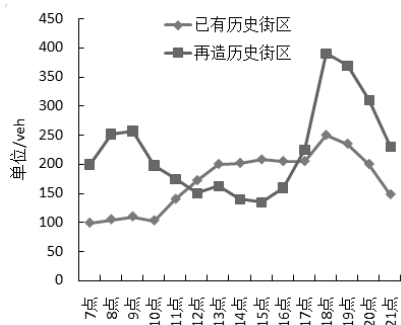


图3 历史街区不同时间段自行车交通量折线图
Fig.3 Line chart of different time bicycle traffic in historical block

(3)历史街区自行车到达距离特性

通过网络调查对到达历史街区的骑行距离进行调查后可得下图4。可以看出：已有历史街区到达距离集中在1km~3km，再造历史街区到达距离集中在2km~4km；可以得出2~4km是骑行者前往历史街区的最佳出行距离。

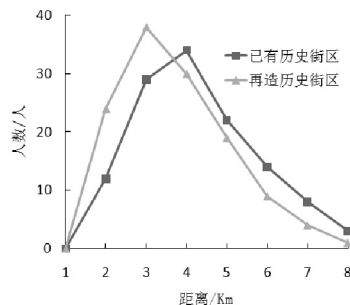


图4 到达历史街区骑行距离的人数分布图
Fig.4 The number of arrive at historical block distance distribution

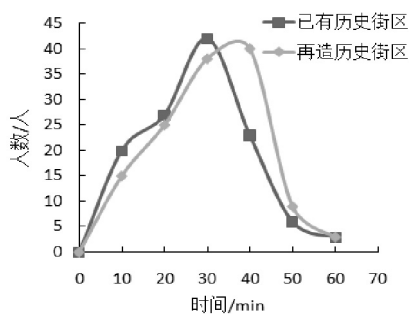


图5 到达历史街区耗时曲线图
Fig.5 Time curve of reach the historical block

(4)历史街区自行车到达耗时特性

通过网络调查对骑自行车前往历史街区的时间统计后得图5。可以看出已有历史街区骑行耗时在30min内的骑行者较多，再造历史街区骑行耗时在40min内的骑行者较多，前往已有历史街区耗时更小。

3 历史街区自行车速度特性

自行车速度主要受出行目的、年龄、性别、道

路状况、天气等因素的影响，本文对年龄、性别、道路类型3个因素进行统计分析：

(1)骑行者年龄对自行车速度的影响

通过对历史街区各个观测点的骑行者速度进行统计，随机抽取儿童、青年、中年、老年骑行者各30个的速度，可以得到速度与年龄的箱型图6。可以看出，自行车骑行速度主要集中在11~15 km/h；青年骑行者的速度快，老年骑行者的速度较慢。

(2)性别对自行车速度的影响

通过对历史街区各个观测点的骑行者速度进行统计，随机抽取男性和女性骑行者各50组的骑行速度，可以得到速度与性别的箱型图7，可以看出，男性骑行者的速度集中在12.5~15.3 km/h，女性骑行者的速度集中在12.1~14.3 km/h，男性的速度略大于女性。

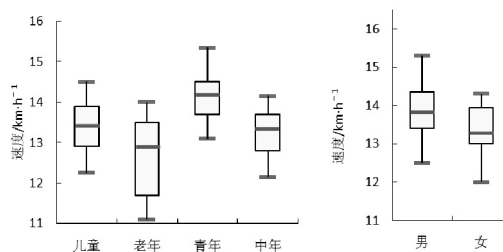


图6 年龄-速度箱型图
Fig.6 Age-speedbox plot

图7 性别-速度箱型图
Fig.7 Sex-speedbox plot

(3)不同道路类型对自行车速度的影响

通过对历史街区中机-非隔离道路、机-非混行的双车道和四车道的道路上的自行车速度进行统计，三种道路类型分别随机抽取30个速度样本，可得到速度-道路类型的箱型图8。

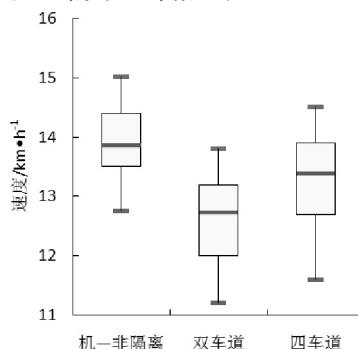


图8 道路类型-速度箱型图

Fig.8 Road type-speed box plot

可以看出，有专用非机动车道的路面上自行车的速度显著大于无专用非机动车道，路面更宽为四车道的自行车速度高于双车道上的自行车速度。

对历史街区三种不同道路类型上的骑行者的年龄段进行记录，将四个年龄段的骑行速度求得平均值，可得出三种道路类型上不同年龄段速度的曲线图如图9。可以看出，机-非隔离路段的各个年龄

段速度都大于机非混行四车道上的速度,机非混行四车道上各个年龄段的骑行速度都大于机非混行双车道.

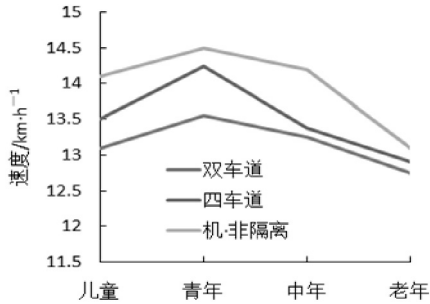


图 9 三种道路类型上不同年龄段速度的曲线图
Fig.9 Velocitycurve of three road type of different age

4 历史街区自行车交通流特性

历史街区自行车交通流的主要参数包括自行车流交通量、速度、密度,机非隔离路段内的自行车流所受干扰较小,对其进行研究可以了解历史街区中纯自行车流的交通特性.自行车交通流三要素之间的关系模型构建步骤为:

①通过对历史街区自行车交通流三要素的数据统计分析后,绘制各要素之间的散点图,如图 10.

②参照机动车流三要素之间的关系模型,如 Bell-shaped 模型、Edie 分段组合模型、多项式模型、Greenshields 模型等对散点图进行拟合^[6-11],可得出关系模型如表 1.

③采用 T 检验或者 F 检验对模型进行检验,检验通过后模型成立^[17].

表中字母含义为: V 为自行车流速度(m/min), D 为自行车流密度(veh/m²), Q 为自行车流量(veh/min/m) .

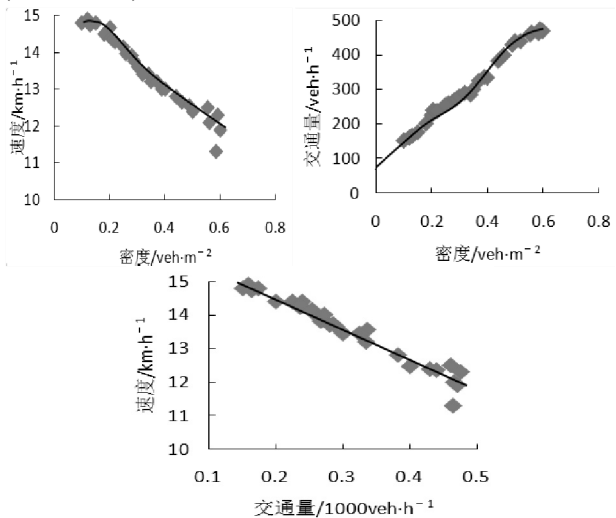


图 10 自行车流三要素关系散点拟合图
Fig.10 Relationship between three elements of road bicycle flow chart

表 1 自行车流三要素关系拟合模型结果
Tab.1 Bicycle flow elements relationship model

| 关系名称 | 拟合模型 | 模型 | 模型检验 |
|------------|--------------------|--|---------------|
| 速度-密度 | Bell-shape d 曲线 | $V = \begin{cases} 14.71e^{\frac{1}{2}(\frac{D}{0.80})^2} & D < 0.5 \\ V_g & D \geq 0.5 \end{cases}$ | T 检验, 成立 |
| 交通量- 密度 | 多项式模 型 | $Q = -2356D^3 + 2223D^2 + 67.83D + 144.3$ | F 检验, 成立 |
| 交通量- 速度 | 多项式模 型 | $V = -6.66Q^3 + 5.522Q^2 - 10.33D + 16.40$ | F 检验, 成立 |

5 历史街区混合交通流中机动车-自行车干扰特性

对于历史街区尤其是已有历史街区,道路中单幅路较多,没有专用非机动车道,所以机动车和自行车混合交通流较多,机动车对自行车的行进就产生了干扰,在路段内主要体现为摩擦干扰^[18],在交叉口主要体现为右转车辆对自行车过街的干扰.

5.1 路段内机非摩擦干扰分析

历史街区自行车在摩擦干扰下速度的影响因素取决于三个参数:自行车与最靠近的机动车间隔、机动车速度和机动车流量.通过前述调查方法,得到三个影响因素与自行车速度散点图 11、12、13,拟合后如图,拟合模型如表 2.

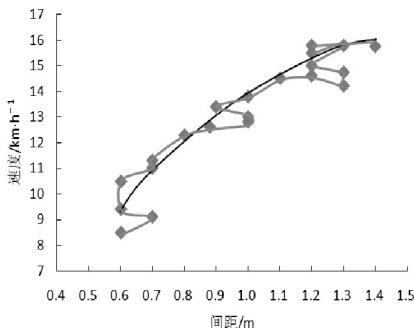


图 11 机非间距-自行车速度散点图
Fig.11 Space -bicycle speed scatter diagram

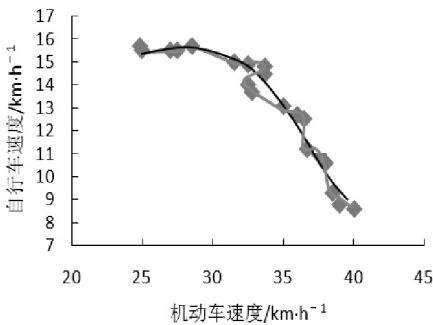


图 12 机动车速度-自行车速度散点图
Fig. 12 Vehicle speed-bicycle speed scatter diagram

从表中可以看出 R^2 均大于 0.9, 模型拟合度较高, 模型成立. 从上图中和上表中还可以得出以下

结论:

- ①机非间距较小时, 自行车速度较慢, 随着距离的增大, 机动车对自行车的速度影响变小, 自行车速度逐渐变大.
- ②机动车速度较小时, 自行车的速度大, 趋近于自由流当机动车速度变大时, 对自行车的速度影响变大, 自行车速度下降.
- ③当机动车流量较小时, 自行车的速度大, 趋近于自由流, 当机动车流量增大时, 对自行车的速度影响变大, 自行车速度下降.
- ④摩擦干扰下各影响因素自行车速度的多元线性回归分析.

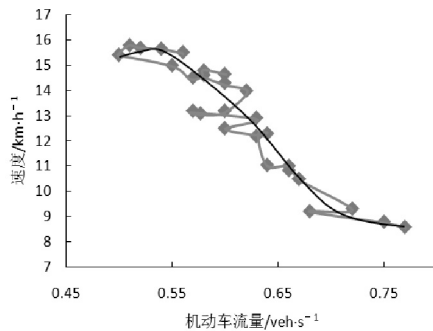


图 13 机动车流量-自行车速度散点图
Fig.13 Flow of vehicles-bicycle speed scatter diagram

表 2 自行车流三要素关系拟合模型结果
Tab.1 Bicycle flow elements relationship model

| 影响因素 | 模型 | 模型检验 |
|-------|---------------------------------------|-------------|
| 机非间距 | $Y=7.504x^3-29.7x^2+43.66x-7.832$ | $R^2=0.930$ |
| 机动车速度 | $Y=-0.33x^2+1.1718x-6.618$ | $R^2=0.943$ |
| 机动车流量 | $Y=1\ 033x^3-1\ 985x^2+1\ 226x-230.7$ | $R^2=0.919$ |

以自行车道外侧自行车速度 V 为因变量, 影响自行车的机动车速度 v 、流量 q 和机非间距 L 为自变量, 建立回归方程 $V=a+bv+cL+dq^{[14]}$.

采用逐步分析法进行多元线性回归, 得到公式: $V=18.052-0.152v+3.920L-0.630q$.

模型的拟合系数 $R^2=0.919$, 在显著性水平 $\alpha=0.05$ 下对模型进行 F 检验, 回归方程统计量 $F=98.635>2.98=F_{0.95}(3,26)$ 通过检验, 模型成立.

5. 2 信号交叉口右转机动车对自行车干扰分析

以历史街区信号交叉口右转机动车对直行过街自行车的干扰为研究对象, 将直行过街自行车分为两种情况: 一种是自行车流通过交叉口, 一种是单辆自行车通过交叉口. 对交叉口这两种情况下的自行车干扰特性进行研究:

(1)右转机动车对直行自行车过街速度的干扰分析

对自行车流在有干扰和无干扰两种情况下自行车流速度各 50 个样本, 可得出百分比柱状图 14, 从图中可以得出以下结论:

- ①在有干扰情况下的交叉路口, 速度分布主要集中在 2~8 km/h, 而无干扰情况下分布在 6~10 km/h. 有干扰的低速度自行车流所占比例更大, 无干扰的高速自行车流所占比例更大.
- ②有干扰的自行车流平均速度(5.39 km/h)小于无干扰的自行车流的平均速度(8.67 km/h). 右转机动车对自行车流的速度影响较大.

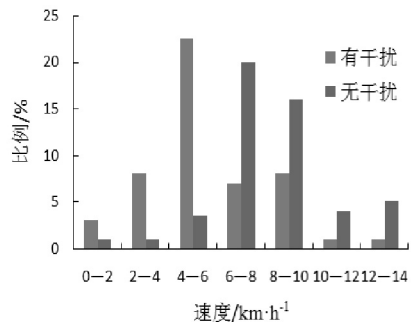


图 14 有干扰和无干扰下自行车流速度所占百分比图
Fig.14 Ratio diagram of jamming and interference free bicycle flow velocity

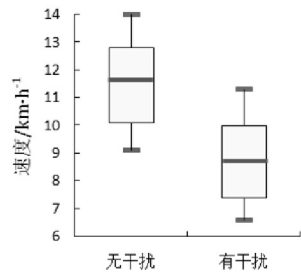


图 15 有干扰和无干扰下单辆自行车速度分布箱型图
Fig.15 Box plot of single bicycle speed distribution in jamming and interference free place

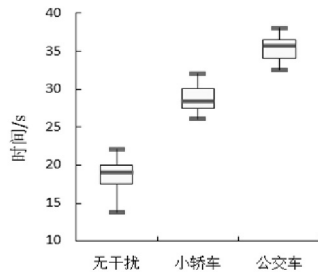


图 16 不同机动车车型对自行车流过街耗时箱型图
Fig.16 Box plot of bike flow pass street time-consuming when jamming from different type of vehicles

对单辆自行车在有干扰和无干扰两种情况下过街速度各 50 个样本统计分析后得出图 15, 从图中可以看出, ①单辆自行车在有机动车干扰下的速度小于无干扰情况下的速度. ②单辆自行车通过交

叉口时,因为可以穿越机动车间隙,所以通过交叉口的平均速度大于自行车流通过的平均速度。

(2)对自行车流耗时的干扰分析

对自行车流通过交叉时无干扰,有右转小轿车,有右转公交车三种情况下的耗时进行观测记录,统计分析后可得图 16。

从图和数据分析后可以得出:公交车对自行车流穿越交叉口的干扰强度大于小轿车,干扰强度几乎是小轿车的 2 倍。

对单辆自行车通过交叉时无干扰,有右转小轿车,有右转公交车三种情况下的耗时进行观测记录,统计分析后可得图 17。

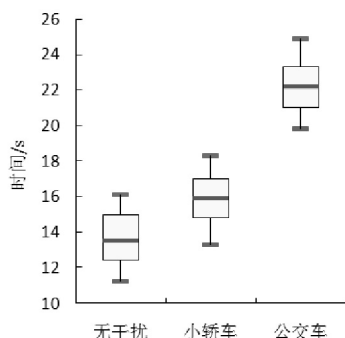


图 17 不同车型对单辆自行车过街速度影响的箱型图
Fig.17 Box plot of single bike pass street time consuming when jamming from different type of vehicles

从上图和上表可以得出以下结论:

①右转公交车对直行单辆自行车的速度干扰大于小轿车,干扰强度远大于小轿车对直行自行车的干扰强度。

②单辆自行车在小轿车和公交车的干扰下过街时耗小于自行车流在干扰下的过街时耗。

6 结语

本文通过对历史街区自行车交通特性研究,得出如下结论:

(1)分析得到历史街区自行车到达时间、距离及时耗特性。

(2)历史街区自行车速度特性.自行车骑行速度在 11~15 km/h;男性骑行者的速度为 12.5~15.3 km/h,女性骑行者的速度为 12.1~14.3 km/h.在各个年龄段机-非混行的四车道的骑行速度都大于机-非混行双车道的自行车速度。

(3)拟合检验得出历史街区自行车交通流及机非混合交通流三要素之间的函数关系。

(4)分析得到信号交叉口右转机动车对自行车的干扰特性。

通过对自行车流的定量和定性研究,其成果为

街区及路网规划、改善设计、交通组织提供参考依据,对进一步构建历史街区自行车交通数据库提供数据基础。

参考文献 References

- [1] 吴良镛. 关于北京市旧城区控制性详细规划的几点意见[J].城市规划, 1998(2): 6-9.
WULiangyong. Some opinions about the old town controlled detailed planning of Beijing City[J]. City planning Review, 1998(2): 6-9.
- [2] 陆翔. 北京 25 片历史文化保护区保护方法初探[J].北京规划建设, 2009(1): 25-28.
LU Xiang. Beijing 25 historical and cultural protection method of reserve [J]. Beijing planning and construction, 2009(1): 25-28.
- [3] 杨新海. 历史街区的基本特性及其保护原则[J].人文地理, 2005(5): 48-50.
YANG Xinhai. The true nature and the preservation principles for the historical blocks[J]. Human Geography, 2005(5): 48-50.
- [4] 杜莹. 历史街区保护改造与旧城更新的区别和联系[J].山西建筑, 2008, 34(11):36-37.
DU Ying. Differences and relations in conservation and rehabilitation for historic district and urban renewal[J]. Shanxi Architecture, 2008, 34(11):36-37.
- [5] 韩宝睿, 马健霄, 仲小飞. 电动自行车的交通特性研究[J]. 森林工程, 2008, 24(6): 29-32.
HAN Baorui, MA Jianxiao, ZHONG Xiaofei. Research on traffic characteristic of the electric bicycle[J]. Forest Engineering, 2008, 24(6): 29-32.
- [6] 单晓峰, 王伟, 王昊, 等. 非拥挤路段自行车交通流特性研究[J]. 交通与计算机, 2006, 24(6):41-43.
SHAN Xiaofeng, WANG Wei, WANG Hao. Properties of bicycle flow in non-congested Road[J]. Computer and Communications, 2006, 24(6):41-43.
- [7] 梁春岩. 自行车交通流特性及其应用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
LIANG Chunyan. Study on characteristics and application of bicycle traffic flow[D]. Changchun: Jilin University, 2007.
- [8] 黄海军. 混合行驶状态下机动车对自行车交通影响分析[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
HUANG Haijun. The impact of motor vehicles on bicycles in mixed traffic condition[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012.
- [9] 王丹. 路段非机动车交通流特性研究[D]. 西安: 长安大学, 2014.
WANG Dan. Research on characteristics of non-motor vehicle traffic flow on road section[D]. Xi'an: Chang'an University, 2014.
- [10] 史建港. 大型活动行人交通特性研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2007.
SHI Jiangang. Research on pedestrian traffic characteristics in special events[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2007.
- [11] KNOBLAUCH R L, PIETRUCHA M T, NITZBURG M. Field studies of pedestrian walking speed and start up

- time[R].In Transportation Research Record 1538, TRB , National Research Council,Washington. DC,1996: 27-38.
- [12] Transportation Research Board. 2000 Highway Capacity Manual[R].National Research Council, Washington. DC, 2000.
- [13] SISIOPIKUV P,AKIN D.Pedestrian behaviors at and perceptions towrnds various pedestrian facilities: an examination based on observation and survey data[J]. Transportation Research PartF 2003:249, 274.
- [14] 张力为. 城市干道无信号控制人行横道行人过街特性分[J].大连海事大学学报,2006(5): 80-83.
ZHANG Liwei. Characteristic analysis of pedestrian crossing unsignalized crosswalks at urban arteries[J]. Journal of Dalian Maritime University,2006(5): 80-83.
- [15] 贾洪飞, 杨丽丽, 唐明,等. 综合交通枢纽内部行人微观特性及建模需求研究[J].交通运输系统工程与信息, 2009(4): 18-21.
JIA Hongfei, YANG Lili, TANG Ming, et al. Micro-characteristics and modeling requirement of pedestrians in muti-modal transport hub[J].Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2009, (4): 18-21.
- [16] 王凯英,廖明军,孟宪强,等.上海地铁站内行人楼梯交通特性[J].上海海事大学学报,2009(3): 70-73.
- WANG Kaiying, LIAO Mingjun, MENG Xianqiang.Stair traffic characteristics of underground station in Shanghai[J].Journal of ShanghaiMaritime University, 2009(3): 70-73.
- [17] 叶建红.行人交通行为与交通流特性研究[D].上海: 同济大学,2009.
YE Jianhong. Pedestrian traffic behavior and traffic flow characteristics study[D]. Shanghai: Tongji University, 2009.
- [18] 贾顺平, 彭宏勤, 尹相勇. 机非混行路段上自行车对机动车行驶的摩擦干扰影响分析[J].北京交通大学学报, 2006, 30(6):2-3.
JIA Shunping, PENG Hongqin, YIN Xiangyong. Analysis of bicycles friction interference on motor vehicles driving in mixed traffic [J].Journal of Beijing Jiaotong University, 2006,30(6):2-3.
- [19] 王蓉, 张仁陟, 陈英. 基于多元回归分析和灰色模型的康乐县城乡建设用地预测[J].甘肃农业大学学报, 2012, 47(1):134-139.
WANG Rong, ZHANG Renzhi, CHEN Ying. Forecast of urban and rural construction land based on the multiple regression analysis and gray model in Kangle Country[J]. Journal of GanSu Agricultural University, 2012, 47(1):134-139.

(编辑 吴海西)

(上接第 213 页)

- [15] Steel, Concrete and Composite Bridges. Part 2: Specification for Loads: BS 5400-2[S].British Standards Institute, 2006.
- [16] 蒋培文.公路大跨径连续体系桥梁车桥耦合振动研究[D].陕西:长安大学,2012.
JIANG Peiwen.Coupled vibration between vehicles and highway long-span continuous series bridge[D].Xi'an: Chang'an University,2012.
- [17] 周勇军,赵煜,贺拴海. 刚构_连续组合桥梁冲击系数多因素灵敏度分析[J].振动与冲击,2012, 31(3):97-101.
ZHOU Yongjun, ZHAO Yu, HE Shuanhai. Muti-parameters sensitivity analysis of impact factors for rigid continuous combine bridge[J].Journal of Vibration and Shock,2012, 31(3):97-101.
- [18] 孙建鹏, 李青宁. 基于传递矩阵法曲线桥的振动特性分析[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2009, 41(4):518-523.
SUN Jianpeng, LI Qingning. The vibration characteristic analysis of curved bridge based on transfer matrix method[J].J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech.(Natural Science Edition), 2009,41(4):518-523.
- [19] 牛俊武, 郭楠楠, 马文涛.不同曲率半径对高墩大跨径连续刚构桥抗震性能影响分析[J].公路,2011,9(9): 137-141.
NIU Junwu, GUO Nannan, MA Wentao.Effectinfluence of continuous rigid frame bridge's seismic response under different curvature radius[J].highway,2011,9(9):137-141.
- [20] 李加武,卢斌,刘建新.墩高及支座剪切刚度对连续梁减震性能影响的试验研究[J].长安大学学报(自然科学版),2002,3(2):39-41.
LI Jiawu, LU Bin, LIU Jianxin. Experimental study on the effect of pier high and bearing shear stiffness on the seismic-induced behavior of continuous beam[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2002, 3(2):39-41.
- [21] 宋一凡, 陈榕峰. 基于路面平整度的车辆振动响应分析方法[J].交通运输工程学报, 2007, 7(4):39-43.
SONG Yifan, CHEN Rongfeng. Analysis method of vehicle vibration response caused by pavement roughness[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007,7(4): 39-43
- [22] 韩万水,王涛,李永庆.基于模型修正梁格法的车桥耦合振动分析系统[J].中国公路学报,2011,24(5):47-55.
HAN Wanshui, WANG Tao, LI Yongqing. Analysis system of vehicle bridge coupling vibration with grillage method based on model updating[J]. China Journal of Highway and Transport, 2011,24(5):47-55.
- [23] LIU Xiaogang, FAN Jiansheng, NIE Jianguo, et al. Behavior of composite rigid frame bridge under bidirectional seismic excitations[J].Journal of Traffic and Transportation Engineering,2014,1(1):63-71.

(编辑 吴海西)