

文章编号: 1674-8085(2018)03-0068-06

基于行驶区间的快速路入口小型车 VSP 分布特征分析

许耀根, *郭建钢, 李 林, 罗文婷

(福建农林大学交通工程研究所, 福建, 福州 350002)

摘 要: 为了研究快速路主辅路入口宏观小型车交通流的比功率(VSP)分布特性, 在晚高峰时段用无人机拍摄快速路入口段小型车汇入的视频资料。把车辆汇入的行驶路段均分成 10 个行驶区间, 通过 Tracker 软件获取视频中小型车的逐秒速度和逐秒加速度, 计算各个行驶区间内所有驶过机动车的逐秒 VSP。应用聚类分析法将所有逐秒 VSP 划分成 12 个 VSP Bin, 并计算和分析在各行驶区间内的 VSP 分布。结果表明: 小型车流汇入过程中, 在第 1~8 行驶区间内的 VSP 分布呈正态分布; 同时, 各行驶区间内 VSP 分布在正值范围的比重均比负值范围的大, 且分布在 $0 \sim 5 \text{ kw} \cdot \text{t}^{-1}$ 所占分比重最大, 其中在第 3 行驶区间所占比重达 41.46%, 但是在第 8、第 9 行驶区间内, VSP 分布在负区间的比重明显大于其他行驶区间, 分别为 42.86% 和 33.90%。

关键词: 交通能耗; 比功率; 聚类分析; 快速路; 汇入车流; 小型车

中图分类号: U491.1⁺¹²

文献标识码: A

DOI:10.3969/j.issn.1674-8085.2018.03.014

DRIVING SEGMENTS BASED VSP DISTRIBUTION FEATURE ANALYSIS FOR SMALL-SIZED VEHICLES AT THE EXPRESSWAY ENTRANCE

XU Yao-gen, *GUO Jian-gang, LI Lin, LUO Wen-ting

(Traffic Engineering Research Institute of Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract: To investigate VSP distribution characteristics of small-sized vehicles at expressway entrance, the video data at converging section of expressway entrance were collected using UAV during the evening peak hours. The converging section of traffic flow was equally divided into ten driving segments. The velocity and acceleration of the small-sized vehicles were obtained with tracker software. Subsequently, and VSP per second or VSP/s within driving segments was calculated, and per second based VSP was divided into 12 VSP bins using clustering analysis, and the VSP distribution features for each driving segment were obtained. Results indicated that the VSP distribution for driving segments from 1 to 8 belong to normal distribution. The positive range takes a greater proportion than the negative range for the VSP distribution at each driving segment, and the largest proportion is located at the range of $0 \sim 5 \text{ kw} \cdot \text{t}^{-1}$. Moreover, the proportion of positive ranges up to 41.46% at the 3rd driving segment. However, the negative ranges of VSP distribution for the 8th and 9th driving segments occupy a larger proportion than other driving segments, with a percentage of 42.86% and 33.90% respectively.

Key words: traffic energy consumption; VSP; clustering analysis; expressway; converging traffic flow; small-sized vehicles

收稿日期: 2017-12-13; 修改日期: 2018-01-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(51608123); 福建省自然科学基金项目(2017J01682)。

作者简介: 许耀根(1992-), 男, 福建厦门人, 硕士生, 主要从事交通运输规划与管理研究(E-mail: xuyaogenemail@126.com);

*郭建钢(1962-), 男, 浙江诸暨人, 教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事道路交通安全工程研究(E-mail: fafugig@163.com);

李 林(1984-), 男, 河南周口人, 讲师, 博士, 硕士生导师, 主要从事道路路面安全性能检测研究(E-mail: 147925726@qq.com);

罗文婷(1983-), 女, 湖南郴州人, 讲师, 博士, 硕士生导师, 主要从事道路路面安全性能检测研究(E-mail: luowentign531@gmail.com)。

0 引言

1999年美国麻省理工学院的Palacio首次提出机动车比功率(Vehicle Specific Power, VSP)的概念,是表示机动车在某一运动状态下自身移动单位质量时发动机的瞬时输出功率,单位为 $\text{kw}\cdot\text{t}^{-1}$ [1]。相比于速度和加速度,采用VSP聚类分析更能反映机动车油耗与交通运行参数之间的关系[2]。

VSP聚类分析的关键在于VSP值的获取、分布域以及VSP Bin的划分。在VSP值获取的方法上,运用较广泛的是利用浮动车来采集数据,先将GPS安装在单辆公交车或出租车上,然后在设定好的路线上行驶并实时获取浮动车逐秒的速度、加速度等运行数据以此来计算VSP值[3-6]。虽然GPS的单车跟踪能更真实反映出车辆实时工况,但由于测试车辆、运行路线单一,难以体现出样本数据的普遍性且对信号稳定性的要求较高。另外,对于VSP分布域的划分,在现有的研究中主要可以归为三种划分方式:按照不同平均行程速度划分、按照同速度区间内不同跟驰模型划分以及按照不同行驶路段、不同平均行程速度划分[7-10]。然而按照不同平均行程速度区间来划分分布域以研究VSP分布的方法适用于行驶过程中机动车速度变化幅度大的路段,且难以

体现机动车在某个区域的VSP分布情况。而大多数学者在VSP Bin的划分方式上大同小异,基本是以 $1\text{--}5\text{ kw}\cdot\text{t}^{-1}$ 不等的步长来划分。上述既有的研究中,均是在道路或公路上的常规路段上进行数据获取,此时车辆的工况变化较为平缓。在快速路入口上行驶的车辆由于受到视线、车道隔离、车流汇入等因素的影响,行驶过程中工况变化频繁,必将导致车辆油耗变化[11]。为此,以驶入快速路入口合流区加速车道上的小型车为研究对象,采用无人机航拍逐秒获取交通流运行数据,鉴于车流汇入过程中速度变化幅度小的特点采用行驶区间来划分分布域,分析快速路入口交通流汇入过程中在各个行驶区间的VSP分布特性,旨在为进一步完善快速路交通能耗的研究奠定基础。

1 研究方法

1.1 VSP数据获取

选取福州市三环快速路洪塘互通具有代表性的主辅路入口及其平行式加速车道作为视频数据的采集点。采用无人机对该带状区域进行连续30分钟全覆盖拍摄,获得每秒30帧的超高清视频。摄像时段为晚高峰时段(17:30-18:00)。快速路主辅路入口示意图,见图1。

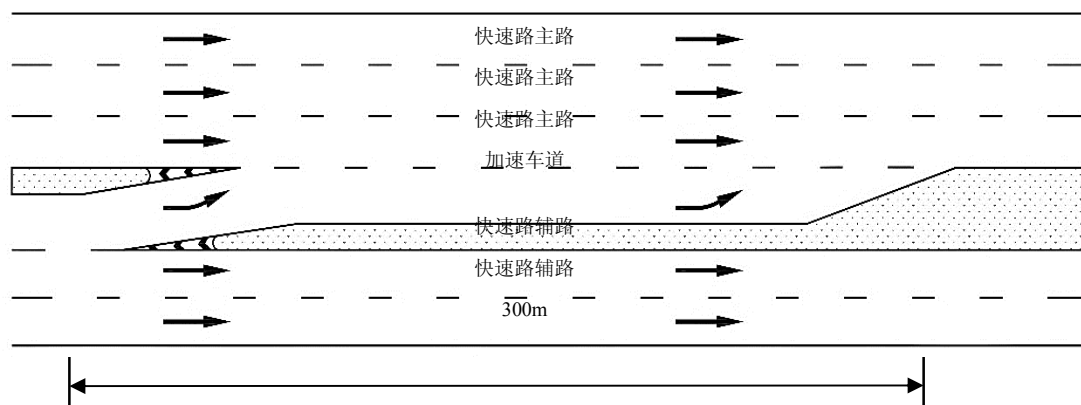


图1 快速路主辅路入口示意图
Fig.1 Illustration of expressway entrance

利用自动对运动物体的位置、速度和加速度进行覆盖跟踪的Tracker软件,将无人机拍摄的视频导入并设置视频播放帧数为30帧(即每1.001s更新一次播放界面),以达到逐秒获取数据的效果[12]。设置加速车道起点的截面中点为坐

标原点,利用质点跟踪功能对所有从快速路辅路进入加速车道的小型车选取一个固定特征点进行跟踪,直到被跟踪车辆驶出加速车道终点所在的截面停止跟踪。

车辆在视频画面中每被跟踪一次,其特征点

在 t 时刻就会对应有唯一的坐标点 (x, y) , 根据坐标值不难得出该车辆的速度、加速度值。假设某车辆依次行驶过 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3) \dots (x_i, y_i), (x_j, y_j), (x_k, y_k) \dots$, 相邻两个坐标点间的行驶时间均为 $\Delta t=1.001\text{s}$, 则在相邻两个坐标点间车辆的速度、加速度计算方法, 见式 (1) ~ (3)。

车辆的速度 (即逐秒速度) v_{ij}, v_{jk} 为:

1) 车辆的速度 (即逐秒速度) v_{ij}, v_{jk} 为:

$$v_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} / \Delta t \quad (1)$$

$$v_{jk} = \sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2} / \Delta t \quad (2)$$

2) 车辆的加速度 (即逐秒加速度) a_{ij} 为:

$$a_{ij} = v_{jk} - v_{ij} / \Delta t \quad (3)$$

车辆在实际行驶当中, 由于受到道路线形、车流等实际交通环境的影响, 车辆自身运动状态

(如速度、加速度等) 会产生变化, 进而引起该过程中车辆运动所需的功发生变化。Palacios 研究的小型车单车比功率模型见式 (4)。

$$VSP = v(1.1a + 9.81G + 0.132) + 0.000302v^3 \quad (4)$$

式中, VSP 为机动车逐秒比功率 ($\text{kw}\cdot\text{t}^{-1}$); v 为机动车逐秒速度 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$); a 为机动车逐秒加速度 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$); G 为坡度 (%), 在本研究中 G 取 0。

1.2 分布域与VSP区间划分

1.2.1 分布域划分

在前期的调查研究中发现, 车流汇入过程中路径较短且速度整体变化幅度小。为了让汇入车流的 VSP 分布情况更好地体现在合流区上的不同位置, 采用行驶区间来划分分布域。在保证能获取到逐秒速度及加速度的前提下, 以尽量小行驶区间长度 (30 m) 划分行驶区间, 沿着 x 轴正方向, 将合流区分成 10 个行驶区间, 依次编号 1, 2, $\dots$, 10, 见图 2。

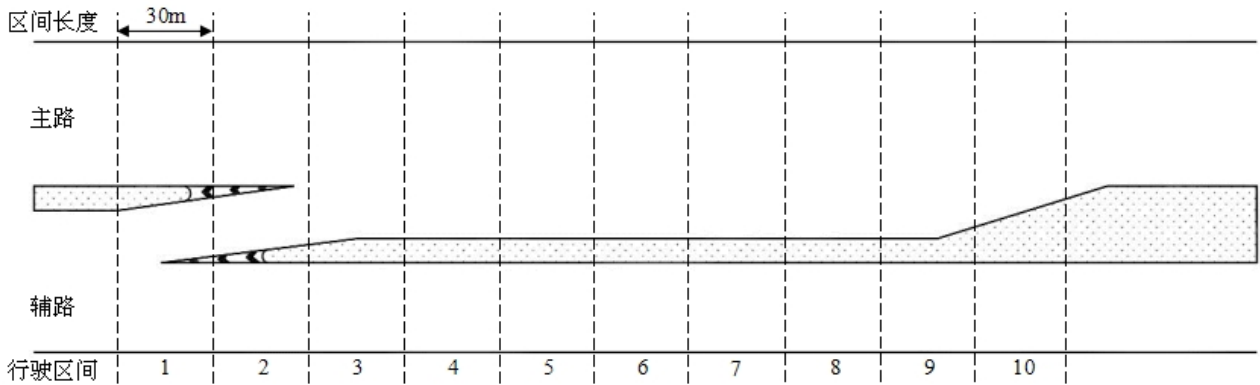


图 2 快速路入口合流区行驶区间划分示意图

Fig.2 Illustration of driving segment division to expressway entrance confluence area

2.2.2 VSP 区间划分

美国环保署开发的 MOVES 模型将 VSP 区间的划分包含了车辆的各个行驶工况 (加速、减速、怠速、匀速) [13]。即当 $v>0, VSP<0$ 时, 减速或下坡状态; 当 $v>0, VSP>0$ 时, 加速或匀速状态; $v=0, VSP=0$ 时, 怠速状态。车辆在快速路入口汇入的过程中, 均为 $v>0$ 。

根据获取的逐秒速度、逐秒加速度按照小型车的 VSP 计算公式 (4) 分别计算逐秒的 VSP 。计算得到的逐秒 VSP 主要集中在 $-19 \text{ kw}\cdot\text{t}^{-1} \sim 38 \text{ kw}\cdot\text{t}^{-1}$ 之间, 以 $5 \text{ kw}\cdot\text{t}^{-1}$ 为步长将所有逐秒 VSP 划分成 12 个 VSP Bin, 并对其进行聚类分析。VSP 区间划分, 见表 1。

表 1 VSP 区间划分

Table.1 VSP interval division

VSPBin	VSP 区间/ ($\text{km}\cdot\text{t}^{-1}$)	VSPBin	VSP 区间/ ($\text{km}\cdot\text{t}^{-1}$)
1	$-19 < VSP \leq -14$	7	$10 < VSP \leq 15$
2	$-14 < VSP \leq -9$	8	$15 < VSP \leq 20$
3	$-9 < VSP \leq -4$	9	$20 < VSP \leq 25$
4	$-4 < VSP \leq 0$	10	$25 < VSP \leq 30$
5	$0 < VSP \leq 5$	11	$30 < VSP \leq 35$
6	$5 < VSP \leq 10$	12	$35 \leq VSP < 38$

2 VSP 分布特性分析

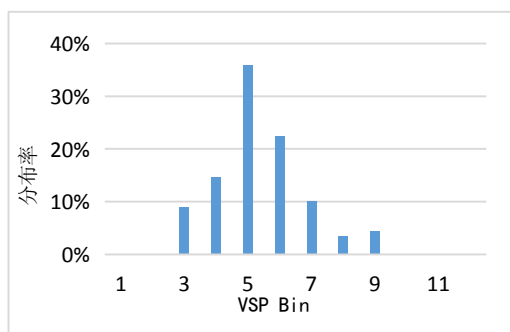
通常情况下, VSP 分布是指单辆机动车在各 VSP Bin 下的行驶时间占总行驶时间的比重 [14]。

但是,研究宏观交通流在各行驶区间的 VSP 分布时,由于行驶区间的长度划分得较短,绝大多数车辆在各行驶区间的行程时间为 2~3 s,因此某行驶区间内的 VSP 分布为车流经过该行驶区间时某 VSP Bin 下的逐秒 VSP 数量与该行驶区间内所有逐秒 VSP 数量的比例。即行驶区间内所有在各 VSP Bin 下的车辆行驶秒数总和占该行驶区间内所有车辆行程秒数总和的比重。

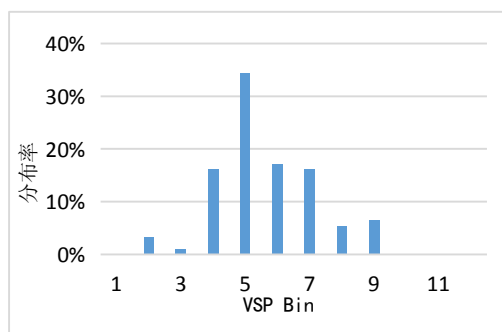
根据上述计算方法,对获取到的所有逐秒

VSP 进行聚类整理和计算,并以 VSP Bin 为横坐标,分布率为纵坐标,最终得到各行驶区间内的 VSP 分布,见图 3。

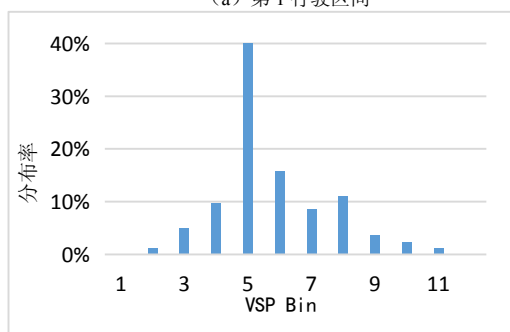
从计算得到的各行驶区间的逐秒 VSP、VSP Bin 分布率中,取 VSP 分布特性的几个关键参数(VSP 均值、正负区间比重、最高分布率的 VSP 区间和最高分布率)进行汇总,见表 2。并绘出各行驶区间内 VSP 正区间的比重变化曲线图(见图 4)和 VSP 均值变化曲线图(见图 5)。



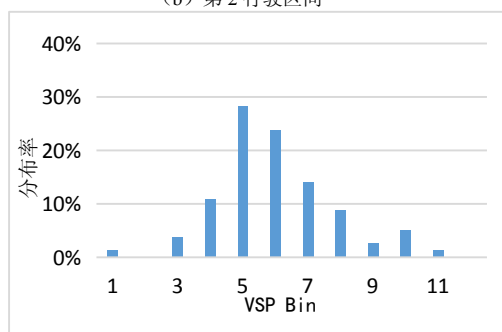
(a) 第1行驶区间



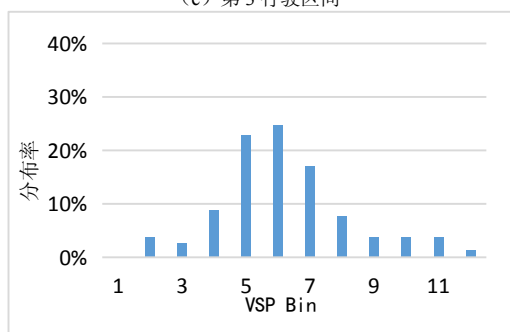
(b) 第2行驶区间



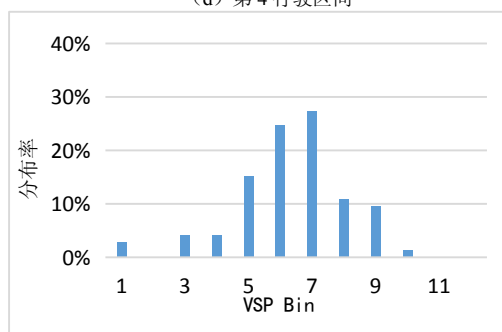
(c) 第3行驶区间



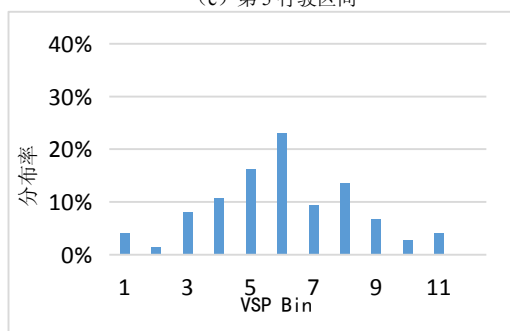
(d) 第4行驶区间



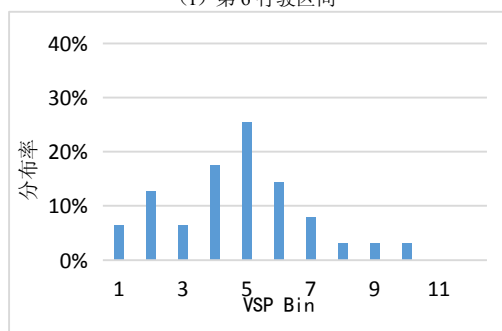
(e) 第5行驶区间



(f) 第6行驶区间



(g) 第7行驶区间



(h) 第8行驶区间

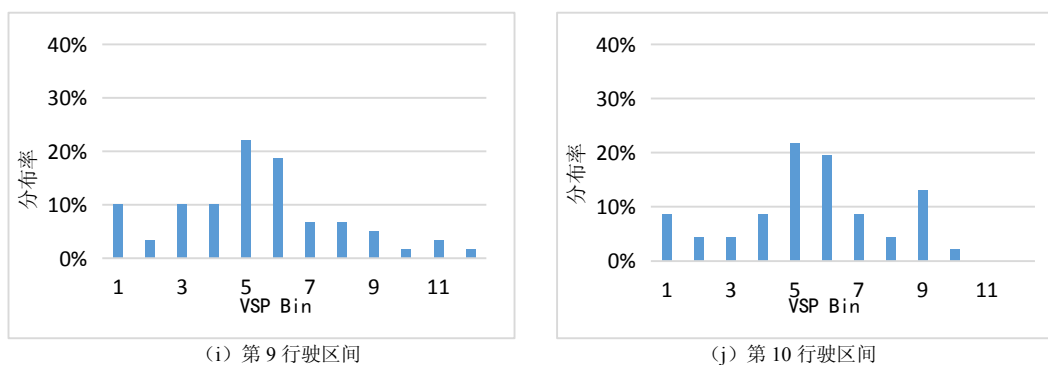


图3 各行驶区间内的 VSP 分布
Fig.3 VSP distribution in each driving segment

表2 各行驶区间内的 VSP 分布特性汇总

Table 2 Summary of VSP distribution characteristics in each driving segments

行驶区间	均值/ $\text{kw}\cdot\text{t}^{-1}$	负区间比重/%	正区间比重/%	最高分布率区间/ $\text{kw}\cdot\text{t}^{-1}$	最高分布率/%
1	5.02	23.60	76.40	$0 < \text{VSP} \leq 5$	35.96
2	5.54	20.43	79.57	$0 < \text{VSP} \leq 5$	34.41
3	6.15	15.85	84.15	$0 < \text{VSP} \leq 5$	41.46
4	7.39	15.99	84.01	$0 < \text{VSP} \leq 5$	28.32
5	8.51	15.19	84.81	$5 < \text{VSP} \leq 10$	24.72
6	8.78	10.96	89.04	$10 < \text{VSP} \leq 15$	27.40
7	7.84	24.32	75.68	$5 < \text{VSP} \leq 10$	22.97
8	5.81	42.86	57.14	$0 < \text{VSP} \leq 5$	25.40
9	4.46	33.90	66.10	$0 < \text{VSP} \leq 5$	22.03
10	4.41	26.09	73.91	$0 < \text{VSP} \leq 5$	21.74

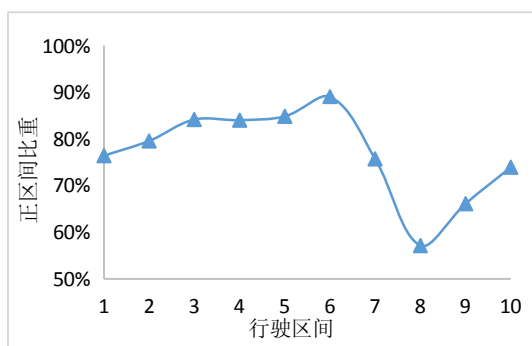


图4 VSP 正区间的比重变化
Fig.4 The proportion changes of the VSP positive section

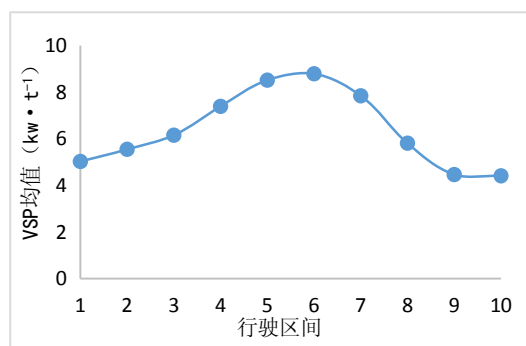


图5 VSP 均值变化
Fig.5 The changes of average VSP

结合图 3、图 4 和表 2, 可以容易看出各行驶区间内的 VSP 分布特征如下:

1) 从第 1 行驶区间至第 8 行驶区间, 各区间基本呈正态分布, 在第 7 行驶区间其正态性最显著。

2) 在所有的行驶区间内, VSP 分布在正区间的比重均大于负区间。在整个汇入过程中, 正区间比重的变化是从第 1 行驶区间到第 3 行驶区间先是缓慢增大, 从第 3 行驶区间到第 5 行驶区

间趋于平稳, 在第 6 行驶区间比重最大达 89.04%, 然后急剧下降在第 8 行驶区间比重最小为 57.14%, 随后继续增加在第 10 行驶区间趋于初始水平。

3) 各行驶区间内, 最高分布率所在的区间基本为 $0 \sim 5 \text{ kw}\cdot\text{t}^{-1}$ 区间, 在第 3 行驶区间 VSP 在 $0 \sim 5 \text{ kw}\cdot\text{t}^{-1}$ 区间的分布率最大达 41.46%; 而在第 5 行驶区间、第 7 行驶区间最高分布率所在区间为 $5 \sim 10 \text{ kw}\cdot\text{t}^{-1}$, 在第 6 行驶区间最高分布率所在区

间为 $10\sim 15\text{ kw}\cdot\text{t}^{-1}$ 。

4) 在第 8、第 9 行驶区间内, VSP 分布在负区间的比重明显大于其他行驶区间, 分别为 42.86%和 33.90%。

3 结论与讨论

3.1 结论

对上述的 VSP 分布特征进行分析, 可以发现第 1 行驶区间至第 8 行驶区间的 VSP 分布基本呈正态分布, 对上述的 VSP 分布特征进行分析, 可以发现第 1 行驶区间至第 8 行驶区间的 VSP 分布基本呈正态分布, 这与现有的按平均速度划分区间的研究基本一致^[15]。同时, 在分析了其他特征后, 可以做出如下判断:

1) 从第 1 行驶区间到第 6 行驶区间车流总体在加速, 且速度的增长趋势在变大; 但第 1、第 2 行驶区间较其它 4 个行驶区间有更多的车辆在减速。

2) 从第 7 行驶区间到第 9 行驶区间负区间分布率增加, 意味着多数汇入车流中受干扰存在减速行为, 即在这几个行驶区间内汇入车流与主车流交织。

3.2 讨论

本文通过划分行驶区间, 分析了快速路主辅路入口宏观小型车流在各行驶区间内的 VSP 分布特征, 旨在为今后研究汇入车流的能耗情况奠定基础, 但仍存在问题需要进一步探讨。

1) 仅仅对小型车进行研究, 后续需对其他车型的汇入特性进行研究;

2) 对第 7 行驶区间到第 10 行驶区间的 VSP 分布分析较为简单, 后续将结合交通流理论进一步研究主路交通流对汇入车流 VSP 分布的影响。

参考文献:

[1] Jimenez-Palacios J L. Understanding and Quantifying Motor Vehicle Emissions with Vehicle Specific Power

and TILDAS Remote Sensing[D]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 1999.

- [2] 张卫华,陈俊杰,江楠,等. 机动车交通流比功率与能耗模型研究[J].大连交通大学学报,2015,36(1):1-5.
- [3] 陈玉婷. 基于 MOVES 道路交通排放特性及影响因素研究[D]. 南京:东南大学,2016.
- [4] 陈旭梅,王莹,姜晨阳,等. 基于比功率的北京快速公交车辆排放特征[J].北京交通大学学报,2012,36(6):90-95.
- [5] 孙成严,王云鹏,孙伟力,等. 基于速度和比功率 (VSP) 划分的轻型车油耗模型[C]. 2014 第九届中国智能交通年会优秀论文集, 2014.
- [6] 董红召,徐勇斌,陈宁. 基于 IVE 模型的杭州市机动车实际行驶工况下排放因子的研究[J].汽车工程, 2011,33(12):1034-1038.
- [7] 王敏,杨亚萍. 不同速度区间下轻型车比功率分布特征分析[J]. 汽车实用技术,2016,(6):60-62.
- [8] 徐龙,宋国华,于雷,等. 基于 VSP 分布的车辆跟驰模型的油耗测算对比研究[J].公路交通科技,2013,30(6):136-142, 147.
- [9] Frey H, Roupail N, Zhai H. Speedand facility-specific emission estimates foron-road light- duty vehicles on the basis of real-world speed profiles[C]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2006 (1987): 128-137.
- [10] 赵琦,于雷,宋国华. 轻型车与重型车高速公路比功率分布特征研究[J]. 交通运输系统工程与信息,2015, 15(3):196-203.
- [11] 陈家瑞. 汽车构造(上册) [M]. 5 版. 北京:人民交通出版社,2007.
- [12] 王昭. 利用 Tracker 软件研究有摆线弹簧摆内共振现象[J].大学物理实验,2017,30(3):110-114.
- [13] 冯红晶,刘荣昌,史慧伟. MOVES 模型中重型车比功率的参数标定及油耗/排放测算[J]. 轻型汽车技术,2016,(Z1):3-6,18.
- [14] 刘娟娟. 基于 VSP 分布的油耗和排放的速度修正模型研究[D]. 北京:北京交通大学,2010.
- [15] 宋国华,于雷. 城市快速路上机动车比功率分布特性与模型[J].交通运输系统工程与信息,2010,10(6): 133-140.