

基于NGSIM的车辆速度运行状态特征研究

宋 建¹, 沈铮玺², 陈 睿¹, 王一晨¹

¹江苏高速公路联网营运管理有限公司大数据应用研究所, 江苏 南京

²东南大学交通学院, 江苏 南京

收稿日期: 2026年8月17日; 录用日期: 2026年9月15日; 发布日期: 2026年9月24日

摘 要

基于NGSIM (Next Generation Simulation)项目US-101路段的微观轨迹数据, 综合利用Python、SPSS及MATLAB软件, 从宏观与微观层面深入分析了城市快速路车辆运行速度的分布规律及变化机理。统计分析表明, 研究路段总体及各分车道的车速分布均服从正态分布, 且低速车辆车速较低、高速车辆速度差异小, 整体离散程度较弱。通过构建多项式曲线模型对不同车头间距与车道位置的速度特性进行拟合, 发现三次多项式模型能较好地描述5~50 m跟驰状态下的速度-间距关系, 其中第4车道拟合优度最高($R^2 = 0.995$); 当车头间距小于5 m时, 速度集中于低速区, 而大于50 m时则进入自由流状态。车道差异分析揭示, 小间距时最内侧车道(Lane 1)速度最低, 随着间距增大至35 m以上, 各车道速度趋于一致(约45 km/h)。此外, 时空分布特征显示, 受匝道与交织区影响, 路段前300 m内的车速显著降低(最低至27.5 km/h), 通过辅道后速度明显跃升。该研究明确了正态分布对拥堵过渡状态下城市快速路车速的描述能力, 确定了多项式模型描述跟驰行为的最佳间距范围, 揭示了匝道与交织区对运行车速的显著影响机制, 为交通流微观仿真与道路安全设计提供了理论依据与数据支撑。

关键词

公路交通, 车辆速度, 分布特征, 模型建立, NGSIM数据, 多项式拟合

Research on Vehicle Speed Operation State Characteristics Based on NGSIM

Jian Song¹, Zhengxi Shen², Rui Chen¹, Yichen Wang¹

¹Institute of Big Data Application, Jiangsu Expressway Network Operation and Management Co., Ltd., Nanjing Jiangsu

²School of Transportation, Southeast University, Nanjing Jiangsu

Received: August 17, 2026; accepted: September 15, 2026; published: September 24, 2026

文章引用: 宋建, 沈铮玺, 陈睿, 王一晨. 基于 NGSIM 的车辆速度运行状态特征研究[J]. 交通技术, 2026, 15(5): 720-731. DOI: 10.12677/ojtt.2026.155062

Abstract

The distribution law and variation mechanism of vehicle operating speeds on urban expressways were analyzed at macroscopic and microscopic levels based on the microscopic trajectory data from the US-101 section of the Next Generation Simulation (NGSIM) project. Python, SPSS, and MATLAB software were comprehensively utilized for this analysis. Statistical results indicate that the speed distributions for the overall road segment and individual lanes conform to a normal distribution. Low-speed vehicles exhibit lower velocities, while high-speed vehicles show minimal speed variations, resulting in weak overall dispersion. Polynomial curve models were constructed to fit the speed characteristics under different headways and lane positions. The cubic polynomial model was found to describe the speed-headway relationship well during car-following states with headways between 5 m and 50 m. The fourth lane demonstrated the highest goodness of fit ($R^2 = 0.995$). When the headway is less than 5 m, speeds concentrate in the low-speed zone. Conversely, when the headway exceeds 50 m, traffic enters a free-flow state. Lane difference analysis reveals that the innermost lane (Lane 1) has the lowest speed at small headways. As the headway increases beyond 35 m, speeds across all lanes tend to converge (approximately 45 km/h). Furthermore, spatiotemporal distribution characteristics show that speeds within the first 300 m of the segment decrease significantly (dropping as low as 27.5 km/h) due to the influence of ramps and weaving areas. A significant speed surge occurs after passing the auxiliary road. This study clarifies the descriptive capability of the normal distribution for urban expressway speeds under congestion transition conditions. The optimal headway range for describing car-following behavior using the polynomial model is determined. The significant influence mechanism of ramps and weaving areas on operating speeds is revealed. These findings provide a theoretical basis and data support for traffic flow microsimulation and road safety design.

Keywords

Highway Transportation, Vehicle Speed, Distribution Characteristics, Model Establishment, NGSIM Data, Polynomial Fitting

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

交通微观仿真模型在交通网络建模中被广泛使用,但存在准确性局限。联邦公路管理局(FHWA)自1970年代起领导交通仿真模型开发,启动下一代模拟(NGSIM)计划,通过公私合作改进交通仿真建模,实现可靠有效的交通决策[1]。

车速是表征车辆运行状态的关键指标,掌握其分布特征对交通规划、设计、管理及安全研究具有重要意义。NGSIM提供充足样本数据供分析,本文基于此分析运行车速的分布特征及类型,利用多项式曲线拟合不同条件下的速度,探究行驶速度、车头间距和车道之间的关系。

在车速分布研究方面,周宏敏等人[2]通过SPSS软件的P-P图及单样本K-S检验,证实正态分布能较好描述高速公路断面车速;闫莹等人[3]进一步对多条高速公路断面进行检验,发现断面运行车速大多服从正态分布。针对城市道路,郝朝静等人[4]基于上海市次干道数据,结合K-S检验与P-P图,得出自由流车速基本服从正态分布的结论;姚铮[5]则利用GPS数据,通过SPSS与MATLAB分析,发现高架

快速路及城市主干道车速分布均服从正态分布，且高架桥对地面车速分布影响较小。现有研究多采用 P-P 图结合 K-S 检验对正态、威布尔等四种分布进行拟合优度检验，本文基于此方法，利用 SPSS 软件分析 NGSIM 数据集的车速分布。

在车速变化研究方面，辛泽洲等人[6]通过 SPSS 线性回归，建立了基于最大扭矩、车身高等七个显著变量的轿车最高车速模型。周娟等人[7]基于 NGSIM 数据，利用 MATLAB 筛选数据并采用多项式曲线拟合，分析不同车道、位置及车头间距下的速度特性，发现平均车速随车头间距增大而趋于平缓，且小间距时最内侧车道速度最低。目前研究多聚焦于影响因素分析或多项式拟合等可视化方法。本文延续该思路，采用多项式曲线拟合分析不同车头间距与车道的速度变化，通过散点图探究不同位置的速度特性，并利用热力图揭示不同时空条件下的车速分布特征。

2. 数据简介

2.1. NGSIM 数据集

本文所采用的数据集源自于 U.S. Department of Transportation 网站，该数据集包含 US-101 南行和加利福尼亚州洛杉矶兰克希姆大道、加利福尼亚州埃梅里维尔东行 I-80 和佐治亚州亚特兰大桃树街的详细车辆轨迹数据。这些数据采用同步数字摄像机网络收集，包括详细的车辆轨迹、广域检测器和用于研究驾驶员行为的支持数据。该数据集共包含 25 列，其名称与说明如下表 1 所示。

Table 1. Column names and descriptions of the NGSIM dataset
表 1. NGSIM 数据集列名及说明

列名	类型	说明
Vehicle_ID	数字	车辆识别号(按进入区段的时间升序)。
Frame_ID	数字	帧标识号(按开始时间升序)。
Total_Frames	数字	车辆在此数据集中出现的帧总数。
Global_Time	数字	自 1970 年 1 月 1 日以来经过的时间(毫秒)。
Local_X	数字	车辆前部中心相对于行驶方向截面最左边缘的横向(X)坐标(单位：英尺)。
Local_Y	数字	车辆前部中心在行驶方向相对于截面入口边缘的纵向(Y)坐标(单位：英尺)。
Global_X	数字	基于 NAD83 中 CA 状态平面 III 的车辆前部中心的 X 坐标(单位：英尺)。
Global_Y	数字	基于 NAD83 中 CA 状态平面 III 的车辆前部中心的 Y 坐标(单位：英尺)。
v_length	数字	车辆长度(英尺)。
v_Width	数字	车辆宽度(英尺)。
v_Class	数字	车辆类型：1-摩托车，2-汽车，3-卡车。
v_Vel	数字	车辆的瞬时速度，单位为英尺/秒。
v_Acc	数字	车辆的瞬时加速度，单位为英尺/平方秒。
Lane_ID	数字	车辆的当前车道位置。车道 1 是最左边的车道；5 号车道是最右边的车道。6 号车道是文图拉大道入口匝道和 Cahuenga Boulevard 出口匝道之间的辅助车道。7 号车道是文图拉大道的入口匝道，8 号车道是卡胡恩加大道的出口匝道。
O_Zone	文本	车辆的起始区域，即车辆进入跟踪系统的地方。研究区域有 11 个起源地，编号从 101 到 111。

续表

D_Zone	文本	车辆的目的地区域，即车辆离开跟踪系统的地方。研究区域内共有 10 个目的地，编号从 201 到 211；因此没有相关联的目的地号码 202。
Int_ID	文本	车辆行驶的交叉口。交叉口编号从 1 到 4，交叉口 1 位于研究区域最南端，交叉口 4 位于研究区域最北端。值“0”表示车辆不在交叉口附近，而是标识为 Lankershim 大道的一段。
Section_ID	文本	车辆行驶的路段。Lankershim 大道分为五个部分(1 号交叉口以南；1 号和 2 号、2 号和 3 号、3 号和 4 号交叉口之间；4 号交叉口以北)。值“0”表示车辆未识别出 Lankershim Boulevard 路段，且车辆位于交叉口附近。
Direction	文本	车辆的移动方向。1-向东(EB)，2-向北(NB)，3-向西(WB)，4-向南(SB)。
Movement	文本	车辆移动。1-通过(TH)，2-左转(LT)，3-右转(RT)。
Preceding	数字	同一车道上领先车辆的车辆 ID。值“0”表示无后退车辆 - 出现在研究路段和出口匝道的末尾，这是因为此数据收集工作只记录了完整的轨迹(研究期开始时已在该路段的车辆未被记录)。
Following	数字	在同一车道上跟随目标车辆的车辆 ID。“0”表示没有后续车辆 - 发生在研究路段和匝道的开始，这是因为此数据收集工作只记录了完整的轨迹(在研究期间结束时未穿过该路段下游边界的车辆未被记录)。
Space_Headway	数字	空间前进(英尺)。间距是指车辆前部中心到前一车辆前部中心之间的距离。
Time_Headway	数字	时间间隔(秒)。时间间隔提供从车辆前部中心(以车辆速度)行驶到前一车辆前部中心的时间。车头时距值为 9999.9 时表示该车在观测路段上前方无车辆。
Location	数字	街道或高速公路名称。

为使研究更具代表性，本文采用数据集中完整的一条路段 US-101 作为研究对象。

2.2. US-101 道路数据

该 NGSIM 数据集中有关 US-101 路段的数据源于 NGSIM 项目的研究人员于 2005 年 6 月 15 日在加利福尼亚州洛杉矶的公路 US-101 (也称为好莱坞高速公路)南行线上收集的详细车辆轨迹数据。研究区域的长度约为 640 米(2100 英尺)，整个路段由五条主线组成，Ventura Boulevard 入口匝道和 Cahuenga Boulevard 出口匝道之间的走廊部分设有集散车道，具体如图 1 所示。NGVIDEO 是为 NGSIM 程序开发的定制软件应用程序，它从视频中转录车辆轨迹数据。该车辆轨迹数据每隔十分之一秒提供研究区域内每辆车辆的精确位置，从而得出详细的车道位置和相对于其他车辆的位置。

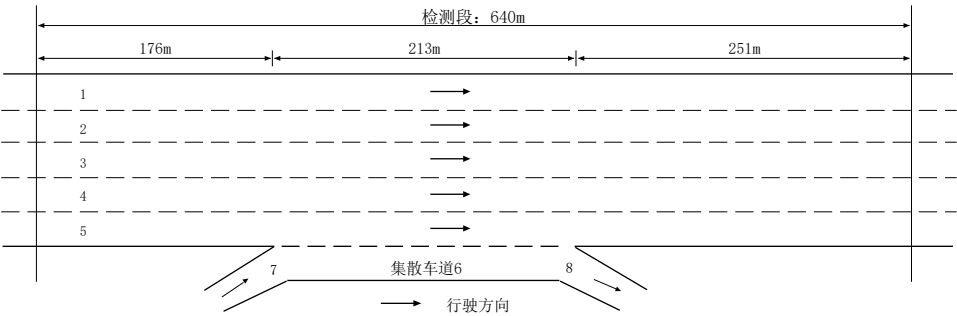


Figure 1. Schematic diagram of the US-101 data collection section
图 1. US-101 采集路段示意图

该完整数据集中总共有 45 分钟的数据可用, 分为三个 15 分钟的时段: 上午 7:50 至上午 8:05; 上午 8 时 05 分至 8 时 20 分; 上午 8:20 至 8:35。这些时段代表拥堵的加剧, 或未拥堵和拥堵状态之间的过渡, 以及高峰时段的完全拥堵。除车辆轨迹数据外, US-101 数据集还包含计算机辅助设计和地理信息系统文件、航空正射校正照片、环形探测器数据和聚合数据分析报告。

3. 数据预处理

本文在对 NGSIM 数据集进行数据提取、处理与分析一系列过程中, 首先用 Python 删去过程中不需要的行与列(包括: 保留 Location 为 us101 的行向量, 删去 Frame_ID、Total_Frames、Global_X、Global_Y、v_length、v_Width、v_Class、O_Zone、D_Zone、Int_ID、Section_ID、Direction、Movement 列向量), 进行标准单位转换(包括: 将 Local_X、Local_Y、Space_Headway 的单位由英尺转换为米; 将 v_Vel 的单位由英尺/秒转换为千米/小时; 将 v_Acc 由英尺/秒²转换为米/秒²), 并按限定条件对数据进行筛选、计算(包括按不同车道、不同 Space_Headway 步长、不同 v_Vel 等)等过程得出初步结果, 然后用 SPSS、MATLAB 等数学分析软件进行作图分析。

需要注意的是, 在本次数据处理的过程中, 为计算简便及便于数据可视化, 采用 Local_X 和 Local_Y 对车辆进行定位, 而未采用 Global_X、Global_Y。由于在本数据集中小汽车占比 97%, 几乎占数据集的全部, 因此在分析的过程中并未对其他车辆进行车辆换算系数的换算。此外, 在进行数据分析时, 并未对 Ventura Boulevard 入口匝道、Cahuenga Boulevard 出口匝道及两匝道之间的集散车道中的车辆进行定量分析。

4. 基于 NGSIM 的车速分布研究

本章基于 NGSIM 数据分析了 US-101 路段的车速分布特征与类型。在分布特征上, 平均车速、百分位车速及标准差表明, 该路段低速车辆车速较低、道路车速下限低, 且交通干扰较少, 使得 85%位车速变化范围小, 车速离散程度较弱, 各车道车速标准差相近。在分布类型上, 通过 6 组共 60 张 P-P 图及标号法分析, 确认正态分布最符合该路段车速数据。最后, 通过比较车速频数直方图与正态分布曲线, 验证了正态分布对总体及各车道数据的良好拟合效果。

4.1. 车速分布特征

4.1.1. 集中趋势

统计六组数据(总体路段及五条车道)的集中趋势参数(见表 2)。

Table 2. Statistical values of central tendency parameters

表 2. 集中趋势参数统计值

参数	均值	标准差	最小值	下四分位	中位数	上四分位	最大值
平均车速	33.56	2.05	31.03	33.03	33.16	33.88	36.71
85%车速	48.59	0.91	47.76	47.98	48.08	49.33	49.79
15%车速	17.13	3.05	13.46	16.46	16.46	17.37	21.91

85%位车速均值为平均车速的 144.79%, 平均车速为 15%位车速的 195.91%, 说明低速车辆车速相对较低; 85%位车速四分位距较小, 表明高速车辆速度差异小, 路段交通干扰少。

4.1.2. 离散趋势

统计数据的车速标准差(见表 3)。

Table 3. Statistical values of dispersion trend parameters
表 3. 离散趋势参数统计值

参数	均值	标准差	最小值	下四分位	中位数	上四分位	最大值
标准差	14.60	0.61	14.03	14.04	14.45	15.09	15.37

车速标准差均值为 14.60 km/h，数值较小，表明路段平面和路侧干扰小，速度离散程度弱；不同车道间标准差变化不大，离散特性接近。

4.2. 车速分布类型

4.2.1. P-P 图

本文利用 SPSS 25.0 对总体及五条车道分别作正态、对数正态、威布尔、Gamma、Logistic 分布的 P-P 图(共 60 张)，采用标号法评估拟合效果(最优标 1，最差标 5)。

分别对 60 张 P-P 图进行标号，对每种分布的标号的总和以及标号为 1 的次数进行统计，以这两个参数作为标准确定最优分布，如表 4 所示。

Table 4. Lane-wise and overall numbering scheme
表 4. 分车道及总体标号表格

样本	类型	车道总体	Lane 1	Lane 2	Lane 3	Lane 4	Lane 5	总和	1 次数
	正态分布	1	1	1	1	1	2	7	5
	对数正态分布	5	5	5	5	5	5	30	0
	威布尔分布	3	2	3	4	4	4	20	0
	Gamma 分布	4	4	2	3	3	3	19	0
	Logistic 分布	2	3	3	2	2	1	13	1

标号的总和越小、标号为 1 的次数越多，说明所选车速分布类型能越好地拟合样本数据。统计六组数据的拟合结果，可见正态分布是 US-101 路段车速分布特征的最优分布。US-101 路段总体的拟合结果见表 5 (斜杠左边为标号总和，斜杠右边为标 1 的次数)。

Table 5. P-P plot fitting results
表 5. P-P 图拟合结果

	正态分布	对数正态分布	威布尔分布	Gamma 分布	Logistic 分布	最优分布
US-101 路段	7/5	30/0	20/0	19/0	13/1	正态分布

4.2.2. K-S 检验

本文采用的检验方法为柯尔莫哥洛夫 - 斯摩洛夫检验方法，简称为 K-S 检验。通过 K-S 检验及频数分布图验证，正态曲线可较好描述总体及各车道车速数据(见图 2)。

基于 K-S 检验结果、频数分布图及正态分布拟合曲线的比较，可知正态曲线能够较好地描述 US-101 车道总体及各车道的车速数据。因此，检验结果支持采用正态分布来描述各车道的车速分布形式。

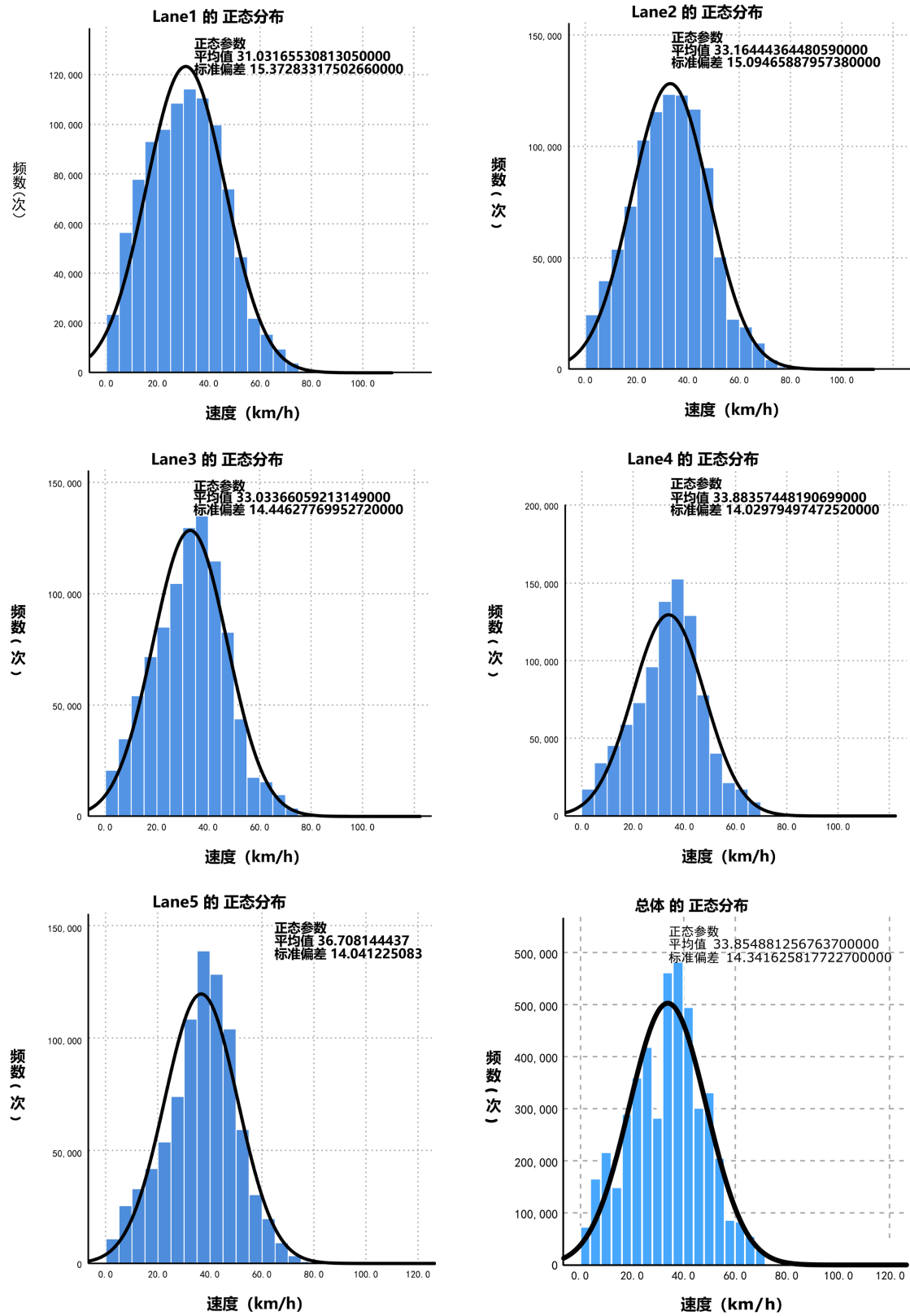


Figure 2. Lane-specific and overall frequency distribution plots with fitted curves

图 2. 分车道及总体频数分布图和拟合曲线

5. 不同条件下的车辆速度特性分析

5.1. 不同车头间距下的车辆速度特性分析

5.1.1. 整条路段下不同车头间距下的车辆速度特性分析

首先对车头间距(Space_Headway)分段计算平均车速, 分别采用总长 100 m (步长 2 m)和 50 m (步长 1 m)进行拟合。对比 Logistic、指数、对数等 11 种曲线模型, 三次多项式拟合最优。故统计车头间距与速度的对应数据并进行三次多项式拟合。

(1) 车头间距 100 m 的拟合

通过散点图构建曲线拟合, 得出的拟合函数为:

$$y = 6.26186 + 1.79258 \times x^1 - 0.02424 \times x^2 + 1.09148E-4 \times x^3.$$

其中, y 表示平均车速(km/h), x 为车头间距(m)。

R² 值如表 6 所示。

Table 6. Model 1 summary

表 6. 模型 1 摘要

模型 1 摘要			
R	R ²	调整后 R ²	标准估算的错误
0.984	0.968	0.965	1.907

如表中数据所示, 调整后的 R² = 96.5%, 车头间距在前 50 m 的拟合度明显较高, 而在 50~100 m 的拟合出现了较大偏差。因此该多项式曲线模型适合对车头间距在 5~50 m 范围内的自由流状态下的速度曲线进行拟合。

(2) 车头间距 50 m 的拟合

通过散点图构建曲线拟合, 得出的拟合函数为:

$$y = 2.965x - 0.06x^2 + 4.29E-4 \times x^3.$$

R² 值如表 7 所示。

Table 7. Model 2 summary

表 7. 模型 2 摘要

模型 2 摘要			
R	R ²	调整后 R ²	标准估算的错误
0.994	0.989	0.988	1.155

由表 7 可知按 Space_Headway 总长为 50 m, 步长为 1 m 进行拟合得到的拟合效果要明显优于 Space_Headway 按总长为 100 m, 步长为 2 m 的拟合效果。车头间距较小时, 平均速度低, 交通流拥挤; 随间距增大, 速度快速提升后趋于平缓。多项式模型适合 5~50 m 范围内的跟驰状态拟合。

5.1.2. 不同车道、不同车头间距下的车辆行驶速度特性分析

如图 3 所示为不同车道以及不同车头间距下平均行驶速度的分布图。

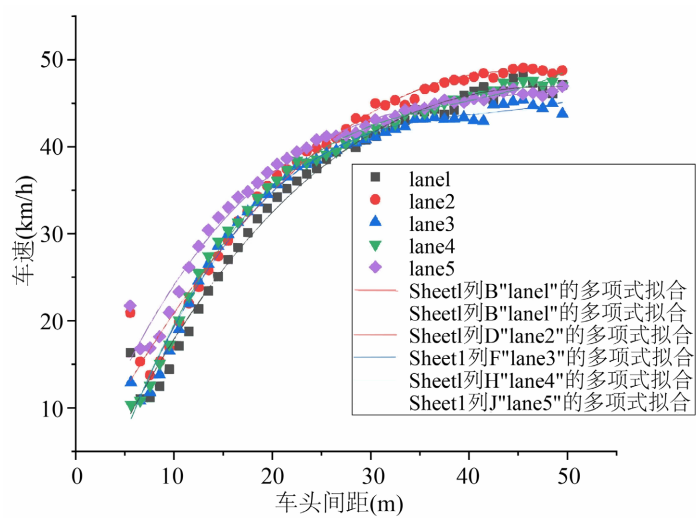


Figure 3. Average speed distribution map fitted with a bin width of 1 m over a total Space_Headway length of 50 m
图 3. 按 Space_Headway 总长 50 m，步长 1 m 拟合平均速度分布图

由图 3 可知，随车头间距增大，各车道平均速度均增大。间距较小时，速度排序：Lane 5 > Lane 2 > Lane 4 > Lane 3 > Lane 1；间距大于 35 m 时，各车道速度趋于一致(约 45 km/h)；大于 50 m 时，进入自由流状态，行驶速度趋于离散，进一步函数拟合会存在较大偏差。

表 8 所示为不同车道不同车头间距下的车辆平均行驶速度变化的拟合函数信息。

Table 8. Fitted curve table with a bin width of 1 m over a total Space_Headway length of 50 m
表 8. 按 Space_Headway 总长为 50 m，步长为 1 m 拟合曲线表

方程		$y = \text{Intercept} + B1 \times x^1 + B2 \times x^2 + B3 \times x^3$				
绘图		Lane 1	Lane 2	Lane 3	Lane 4	Lane 5
权重		不加权				
截距		-3.46563 ± 1.9	1.92889 ± 2.11	-9.04487 ± 1.34	-9.57662 ± 1.00	1.70638 ± 1.7
B1		2.50522 ± 0.27	2.15382 ± 0.29	3.61114 ± 0.18	3.73756 ± 0.14	2.81335 ± 0.23
B2		-0.03904 ± 0.0	-0.0261 ± 0.01	-0.0846 ± 0.00	-0.09005 ± 0.00	-0.06222 ± 0.00
B3		$1.81567\text{E}-4 \pm 1$	$2.95953\text{E}-5 \pm 1$	$6.81638\text{E}-4 \pm 9$	$7.72442\text{E}-4 \pm 6$	$4.79802\text{E}-4 \pm 3$
差平方和		94.19509555	110.448214	44.13657651	24.72676248	75.23406525
R ²		0.983839779	0.97973118	0.990656987	0.995317177	0.978983078
调整后 R ²		0.982657323	0.978248096	0.989973352	0.994974531	0.977445254

由表 8 可见，Lane 4 拟合效果最优($R^2 = 0.995$)，Lane 1 相对较弱。当车头间距处于 5~50 m 之间时，各车道上车辆的平均行驶速度标准差趋于稳定，集中在 0.28~0.30 之间。

5.2. 不同位置下的车辆行驶速度特性分析

路段长 640 m，以 4 m 为间段获得 160 组平均车速数据，绘制的折线图如图 4 所示。

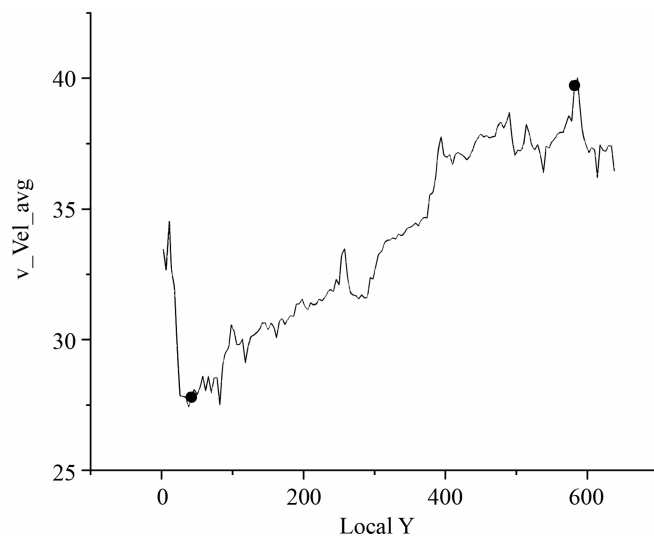


Figure 4. Scatter plot of distance from entrance versus vehicle speed
图 4. 距离入口距离和车速的散点图

通过散点图分布趋势可观察到，在道路入口后方，

- (1) 0~38 m: 匝道车辆并入，车辆减速至 27.5 km/h 临界值；
- (2) 200~300 m: 车辆交织频繁，速度下降；
- (3) 400 m 以后: 通过辅道，不受匝道影响，速度跃升后自由行驶。

5.3. 不同时空条件下车速的分布特性

本节使用处理后的数据，并以时间为横轴，空间为纵轴，以颜色表示速度的大小分布作全车道时空车速热力图，如图 5 所示。Global_Time 的波动范围为 0~2772.5 秒，因此将总时长划分为 277 段作为横坐标，单位长度为 10 秒；Local_Y 的波动范围为 0~681 米，因此将总长度划分为 681 段作为纵坐标，纵坐标步长为 1 米。

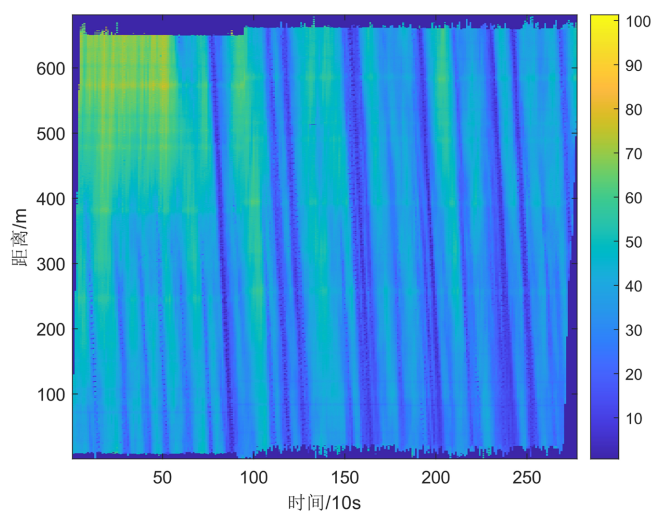


Figure 5. Spatiotemporal vehicle speed heatmap of all lanes
图 5. 全车道时空车速热力图

如图 5 显示, 在前 500 秒内, 道路的下游路段车辆速度较高, 道路上游路段相对较低。而在 800 至 900 秒左右道路下游车速骤降并逐渐影响到道路上游, 产生类似的速度波动。在总共的时长中共产生了 6 至 7 次此类速度波动。

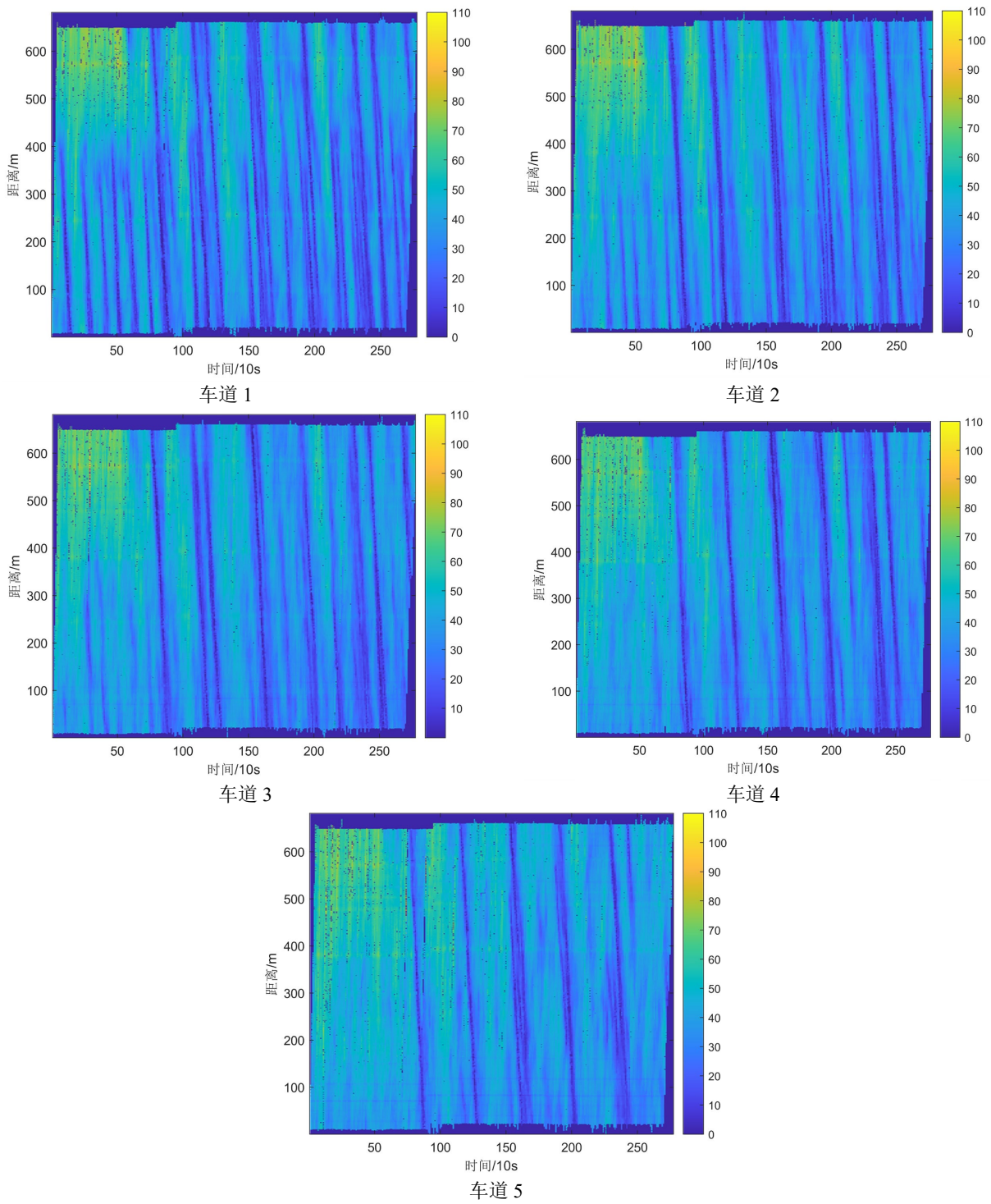


Figure 6. Lane-specific spatiotemporal vehicle speed statistical heatmap
图 6. 分车道时空车速统计热力图

根据图 6 所示车道 1 至车道 5 的速度时空图可以看出, 车道由左向右速度波动的纹路变得平缓, 这证明靠左的车道速度波动较大且波动次数多, 易产生明显的速度骤降或骤升, 而靠右的车道速度变化相对平缓。车道 1 的波动次数最多也最为明显。

6. 结论

(1) 车速分布特征与模型验证: 整体路段车速服从正态分布, 低速车辆车速较低, 高速车辆速度差异小, 整体离散程度弱。这一结论在研究方法上延续了前人(如周宏敏、闫莹等)采用 P-P 图与 K-S 检验的思路, 但将其应用范围拓展至 NGSIM 微观轨迹数据, 进一步证实了正态分布模型在描述城市快速路拥堵过渡状态下的适用性。

(2) 车头间距与车道差异的精细化模型: 三次多项式模型能较好地拟合 5~50 m 跟驰状态下的速度 - 间距关系(间距小于 5 m 时速度集中于低速区, 大于 50 m 进入自由流)。在车道差异方面, 车头间距较小时最内侧车道(Lane 1)速度最低, 间距大于 35 m 时各车道速度趋于一致。相较于前人(如周娟等)关于车速随间距变化的定性描述, 本文通过对比 11 种曲线模型, 明确了三次多项式在特定间距范围内的最优拟合性能, 并给出了具体的函数表达, 实现了从趋势分析到精确建模的深化。

(3) 位置影响与时空演化机制: 入口匝道及交织区段速度显著降低, 通过辅道后速度跃升。本文不仅验证了位置对速度的影响, 还利用散点图和热力图揭示了不同时空条件下的车速分布特性, 直观展示了匝道汇入与车辆交织导致的局部速度波动及传播规律, 弥补了单一断面或静态分析的不足。

参考文献

- [1] FHWA (2017) Next Generation SIMulation Fact Sheet. <https://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysis/tools/ngsim.htm>
- [2] 周宏敏, 马玉成, 王君. 高速公路断面运行车速分布的研究[J]. 华东交通大学学报, 2008(5): 32-35.
- [3] 闫莹, 王晓飞, 张宇辉. 高速公路断面运行车速分布特征研究[J]. 中国安全科学学报, 2008(7): 171-176.
- [4] 郝朝静, 刘灿齐, 原二普. 城市次干道自由流车速分析[J]. 交通科技与经济, 2013, 15(1): 73-75, 87.
- [5] 姚铮. 基于多源交通大数据的城市道路车速连续性分布与可视化研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学, 2019.
- [6] 辛泽洲, 牛丽娜, 易红波. 轿车最高车速的回归分析[J]. 现代工业经济和信息化, 2017, 7(2): 68-69, 71.
- [7] 周娟, 贺玉龙, 田静静. 基于 NGSIM 轨迹数据的车辆行驶速度特性分析[J]. 交通科技与经济, 2019, 21(3): 45-48, 61.