

# 高速公路改扩建施工期转序区车速特征分析

张艺林<sup>1</sup>, 赖业荣<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>广东省高速公路有限公司, 广东 广州

<sup>2</sup>中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 湖北 武汉

<sup>3</sup>武汉中交交通工程有限责任公司, 湖北 武汉

收稿日期: 2026年5月25日; 录用日期: 2026年7月21日; 发布日期: 2026年7月29日

## 摘要

高速公路改扩建受施工影响, 道路行车空间压缩, 施工期交通流特性与运营期存在明显差异, 针对性施工期提出合适的交通管理策略显得尤为重要。本文对开阳高速施工期交通转序路段开展现场调研和行车车速特征分析, 利用雷达、录像设备采集转序区车速, 对所获得的交通数据进行加工和可视化处理, 并分析转序区路段车速特性, 提出限制速度建议取值, 为施工期转序区线形设计、速度控制及交通管控策略等研究提供了重要技术依据。

## 关键词

高速公路改扩建, 交通安全, 交通转序区, 车速特征

# Analysis of Traffic Flow Characteristics of the Merging Section in the Construction Area of the Highway Reconstruction and Expansion

Yilin Zhang<sup>1</sup>, Yerong Lai<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Guangdong Provincial Freeway Co., Ltd., Guangzhou Guangdong

<sup>2</sup>CCCC Second Expressway Consultant Co., Ltd., Wuhan Hubei

<sup>3</sup>Wuhan CCCC Traffic Engineering Co., Wuhan Hubei

Received: May 25, 2026; accepted: July 21, 2026; published: July 29, 2026

## Abstract

The expansion and reconstruction of highways are affected by construction, which compresses the driving space, and the traffic flow characteristics during the construction period are significantly different from those during operation. It is particularly important to propose appropriate traffic

management strategies specifically for the construction period. This paper conducts on-site investigations and analyzes driving speed characteristics in the traffic transition sections of Kaiyang Expressway during the construction period, using radar and video equipment to collect vehicle speeds in the transition areas. The obtained traffic data are processed and visualized, and the speed characteristics of the sections in the transition areas are analyzed. Recommended speed limit values are proposed, providing important technical support for research on the alignment design, speed control, and traffic management strategies in the transition sections during the construction period.

## Keywords

Expressway Reconstruction and Expansion, Traffic Safety, Merging Section, Traffic Flow Characteristics

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

高速公路改扩建项目施工周期长, 受改扩建方案、区域路网、构造物及道路既有空间条件等限制, 道路施工作业往往划分多个施工区段, 分阶段实施, 不同作业工区之间设置转序区衔接[1][2]。转序区作为改扩建特有的关键且复杂的区域, 承担着车道转换的功能, 其平纵线形及横断面等设计受现场施工情况限制, 其交通流特征、交通行为与一般路段存在较大差异[3][4], 通行能力受限, 成为了高速公路改扩建工程施工期保通瓶颈路段。

现阶段《高速公路改扩建交通组织设计规范》(JTG/T 3392-2022)关于交通组织转序区的相关条文要求较少, 设计时参考依据不足。由于国内外实际道路环境、行车特征存在一定差距[5][6], 直接采用国外结论不具备科学性和实用性。因此本文对国内“四改八 四保通”改扩建工程转序区开展现场调研, 深入分析其行车速度特性, 为转序区设计及运营管理提供基础依据。

## 2. 交通调查

本文对广东省沈阳至海口国家高速公路水口至白沙段改扩建工程进行观测, 既有高速为设计速度 100 km/h 的双向四车道高速公路, 改扩建采用设计速度 120 km/h 双向八车道高速公路标准。交通调查的时间为 2021 年 8 月 5 日至 2021 年 8 月 7 日, 每日对交通流的观测从上午 8 点至下午 2 点。本次调查路段为交通转序区, 由老路双向四车道行驶向半幅保通双向四车道形式转换, 如图 1 所示。该路段全长 200 m, 由  $R = 800$  m 的 S 型反向圆曲线构成, 改扩建施工期主线限速 80 km/h, 转序区限速 60 km/h。



Figure 1. Live view of the Kaiyang expressway expansion and renovation project  
图 1. 广东省开阳高速改扩建工程实景

在本次调查中, 为了获取车速分布、车辆加速度、车辆运行轨迹这些交通流数据, 拟采用便携式 SmartRadar SR300 区域雷达在指定调查时间内对交通流数据进行检测。该设备的具体参数及布设方式如表 1、图 2 所示。

**Table 1.** SmartRadar SR300 area radar main parameters

**表 1.** SmartRadar SR300 区域雷达主要参数

| 参数     | 规格                           |
|--------|------------------------------|
| 最大追踪数量 | 128 个                        |
| 目标定位精度 | $<\pm 2.5\%$ 或 $<\pm 0.25$ m |
| 速度精度   | $<\pm 0.28$ m/s 或 $<\pm 1\%$ |
| 可分车型   | 卡车, 机动车, 自行车, 行人             |
| 覆盖车道数  | 4 条                          |
| 检测范围   | 300 m                        |
| 采样频率   | 20 Hz                        |



**Figure 2.** Regional radar device

**图 2.** 区域雷达装置

此外, 使用无人机录像调查法对交通量及交通组成进行观测, 同时无人机测得的车速用作雷达调查法的补充手段, 对雷达调查法所获取的数据进行校正和补充。

### 3. 数据处理

在进行交通调查时, 利用调查设备采集的原始数据并不能满足数据分析的要求, 需要对原始数据进行加工处理。SmartRadar SR300 区域雷达所采集的原始数据包括车辆 ID、车身长、时间戳、车辆在所测区域的坐标点、横轴速度和纵轴速度, 需要在 excel 中对横、纵轴速度进行合成, 绘制车辆的行驶速度变化轨迹; 无人机设备采集的交通原始数据主要为视频数据, 为了从这些画面中得到所需要的数据信息, 通过 MMRotate 框架中集成的 Oriented R-CNN 旋转目标检测算法对视频中车辆的边框位置数据进行提取, 获取初始数据集, 对道路边界线进行提取, 建立拟合方程, 以道路边界线为参考线, 对车辆中心点数据进行 Frenet 坐标转换, 通过全局最近邻轨迹关联算法, 设定横向距离与纵向距离, 对离散点数据进行轨迹关联, 生成完整的车辆轨迹数据。以上对数据的加工处理均为数据的可视化分析做准备, 以便更好地观察改扩建施工转序区的车速特性和存在的交通问题。

4. 转序区车速特征分析

4.1. 行车速度分析

1、整体速度分析

整体速度特征如表 2 所示，并由此绘制速度中位数、百分位速度、速度标准差随驶入转序区距离的变化，如图 3~5 所示。

由中位数图可以看出，车速呈现直线下降的趋势，在开始的 50 m 内，从 72.13 km/h 下降至 67.47 km/h，降幅为 4.66 km/h。

由百分位车速图可以看出，车辆在转序区均处于减速状态，85 位速度由 84.91 km/h 降低至 78.43 km/h，降幅 6.43 km/h；15 位速度由 59.55 km/h 降低至 55.22 km/h，4.33 km/h。可以看出，转序区限速 60 km/h，接近 85%的车辆处于超速状态。

由速度标准差图可以看出，速度标准差先上升后下降，推测驾驶人对于转序区的路况并不熟悉，起初速度存在一定差异，随着车辆驶入的深入，驾驶条件低于驾驶人预期，因此普遍采取降速，速度标准差因而降低，交通安全水平逐步提升。

Table 2. Overall speed characteristics

表 2. 整体速度特征

| 驶入转序区距离 | 0 m    | 10 m   | 20 m   | 30 m   | 40 m   | 50 m   |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 平均值     | 72.12  | 71.05  | 69.96  | 68.97  | 67.96  | 66.90  |
| 中位数     | 72.13  | 71.18  | 70.41  | 69.25  | 68.18  | 67.47  |
| 方差      | 145.46 | 148.08 | 149.44 | 150.06 | 147.11 | 143.48 |
| 标准差     | 12.061 | 12.169 | 12.225 | 12.250 | 12.129 | 11.978 |
| 范围      | 64.09  | 66.35  | 72.47  | 78.75  | 81.41  | 81.08  |
| 最小值     | 41.48  | 38.60  | 32.69  | 25.57  | 22.46  | 22.03  |
| 最大值     | 105.57 | 104.96 | 105.16 | 104.32 | 103.87 | 103.10 |
| 15 位速度  | 59.55  | 58.48  | 57.92  | 57.06  | 56.46  | 55.22  |
| 85 位速度  | 84.91  | 83.71  | 82.21  | 80.77  | 80.20  | 78.43  |

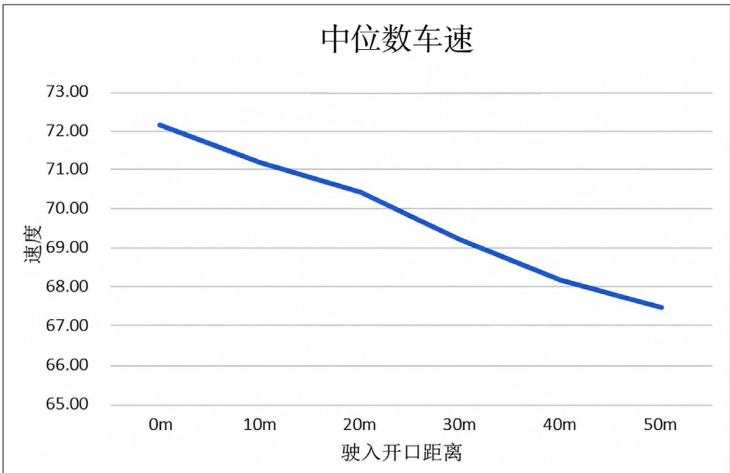


Figure 3. Median distribution of overall speed

图 3. 整体速度的中位数分布

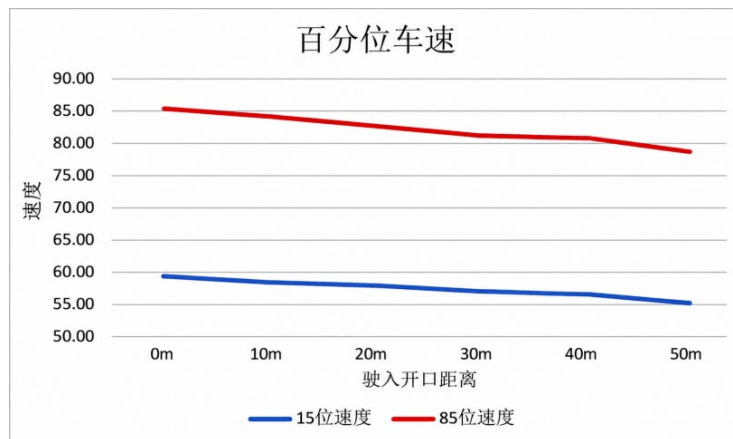


Figure 4. Percentage of overall speed

图 4. 整体速度的百分数车速

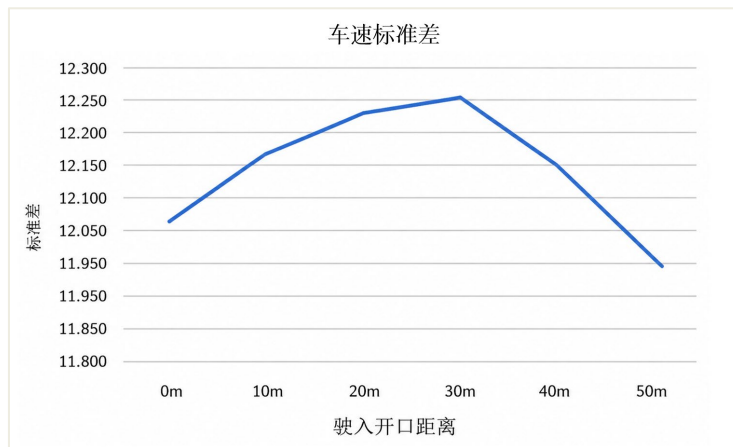


Figure 5. Standard deviation of overall vehicle speed

图 5. 整体速度的车速标准差

## (2) 大型、小型车速度

大型车、小型车速度特征如表 3 所示, 并由此绘制速度中位数、百分位速度随驶入转序区距离的变化, 如图 6~8 所示。

由中位数图可以看出, 所有车速呈现直线下降的趋势, 小型车速度中位数从 77.52 km/h 下降至 70.60 km/h, 降幅为 6.92 km/h。大型车速度中位数从 63.87 km/h 下降至 58.74 km/h, 降幅为 5.13 km/h。从速度绝对值来看, 小型车速度比大型车速度高约 15 km/h, 从速度变化来看, 小型车速度变化幅度比大型车大。

由 85 位车速图可以看出, 各车型在转序区均处于减速状态。小型车 85 位速度由 88.40 km/h 降低至 82.57 km/h, 降幅 5.83 km/h; 大型车 85 位速度由 71.83 km/h 降低至 69.01 km/h, 降幅 2.82 km/h。

Table 3. Vehicle speed characteristics

表 3. 车型速度特征

|     | 小型车   |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|     | 0m    | 10m   | 20m   | 30m   | 40m   | 50m   |
| 平均值 | 77.69 | 76.54 | 75.29 | 74.15 | 72.94 | 71.64 |
| 中位数 | 77.52 | 75.94 | 74.35 | 73.09 | 72.03 | 70.60 |

续表

|        |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 方差     | 105.22 | 108.24 | 111.65 | 113.46 | 113.15 | 113.18 |
| 范围     | 50.68  | 52.48  | 54.39  | 58.04  | 61.85  | 62.06  |
| 最小值    | 54.89  | 52.48  | 50.77  | 46.28  | 42.02  | 41.05  |
| 最大值    | 105.57 | 104.96 | 105.16 | 104.32 | 103.87 | 103.10 |
| 15 位速度 | 66.86  | 65.28  | 63.71  | 62.53  | 61.86  | 61.19  |
| 85 位速度 | 88.40  | 87.61  | 86.14  | 85.29  | 83.86  | 82.57  |

大型车

|        |       |       |       |       |       |       |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 平均值    | 62.69 | 61.75 | 60.93 | 60.19 | 59.51 | 58.86 |
| 中位数    | 63.87 | 62.15 | 61.47 | 60.22 | 59.69 | 58.74 |
| 方差     | 72.32 | 78.30 | 84.19 | 89.96 | 91.72 | 92.62 |
| 范围     | 43.30 | 46.17 | 51.06 | 58.44 | 61.85 | 61.84 |
| 最小值    | 41.48 | 38.60 | 32.69 | 25.57 | 22.46 | 22.03 |
| 最大值    | 84.77 | 84.77 | 83.74 | 84.00 | 84.31 | 83.86 |
| 15 位速度 | 53.06 | 51.25 | 50.58 | 49.84 | 49.31 | 48.64 |
| 85 位速度 | 71.83 | 71.16 | 70.57 | 70.35 | 69.71 | 69.01 |

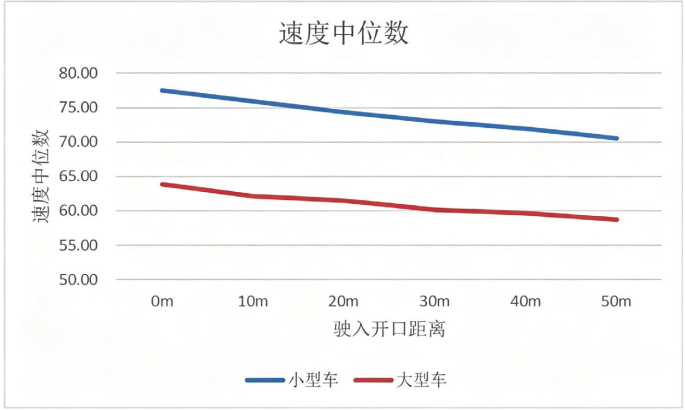


Figure 6. Median velocity distribution  
图 6. 速度中位数分布

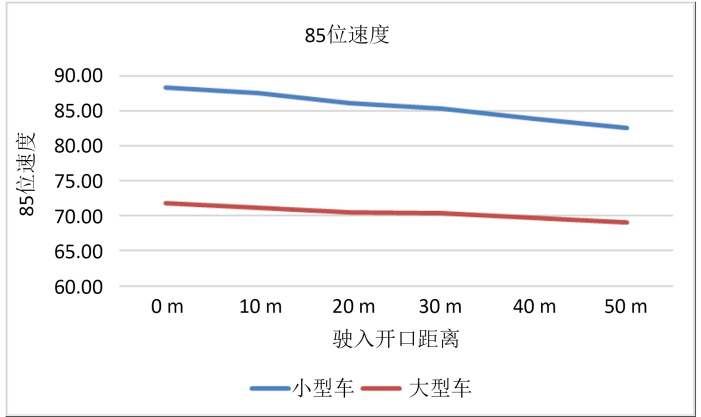


Figure 7. Speed distribution of 85 positions  
图 7. 85 位速度分布

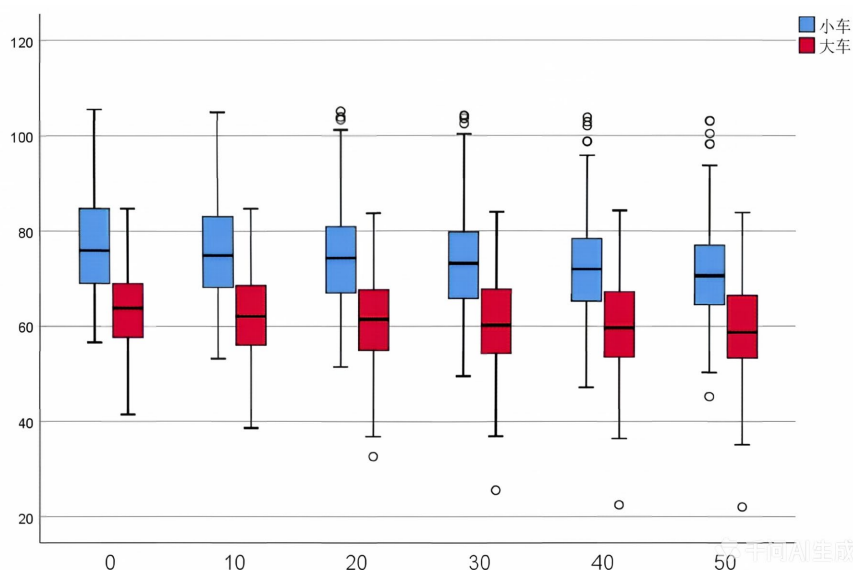


Figure 8. Speed distribution box plot

图 8. 速度分布箱线图

## 4.2. 加速度分析

### (1) 总体加速度分析

由图 9 加速度中位数随驶入转序区距离图可以看出, 车辆普遍处于减速状态, 加速度由初始的 $-0.5313 \text{ m/s}^2$ 大幅提升至 $-0.4440 \text{ m/s}^2$ , 在其余断面, 加速度在 $-0.47 \text{ m/s}^2$ 和 $-0.43 \text{ m/s}^2$ 内上下波动。

由图 10 百分位加速度随驶入转序区距离图可以看出, 有 15% 的车辆在前 20m 范围内处于加速状态; 85 位加速度由  $0.0039 \text{ m/s}^2$ , 以很小的斜率逐渐减低至减速状态, 在 20~30 m 范围内加速度显著降低, 从  $0.0228 \text{ m/s}^2$  降低至  $-0.1321 \text{ m/s}^2$ , 随后保持在一个基本稳定的加速度。而有 85% 的车辆全程处于减速状态, 15 位加速度在前 10 m 内保持在  $-1.0717 \text{ m/s}^2$  左右, 在 10~20 m 范围内加速度显著上升, 从  $-1.0577 \text{ m/s}^2$  上升至  $-0.9273 \text{ m/s}^2$ , 随后保持在一个基本稳定的加速度。

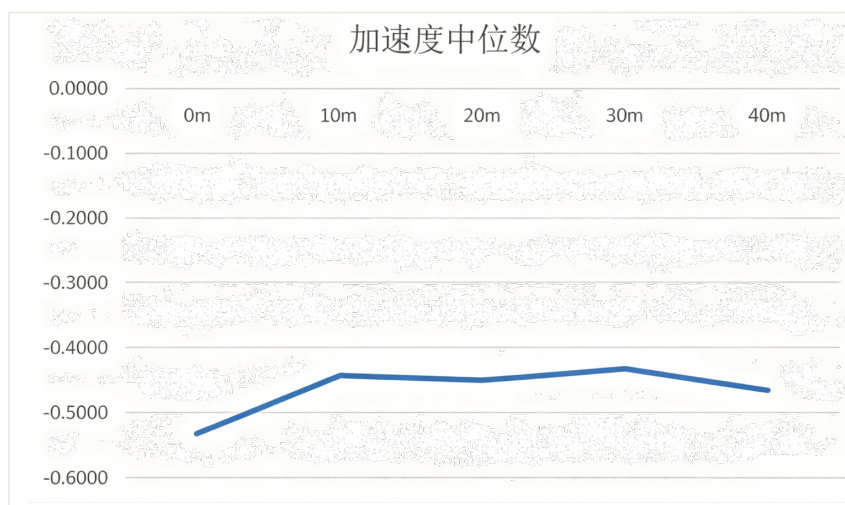
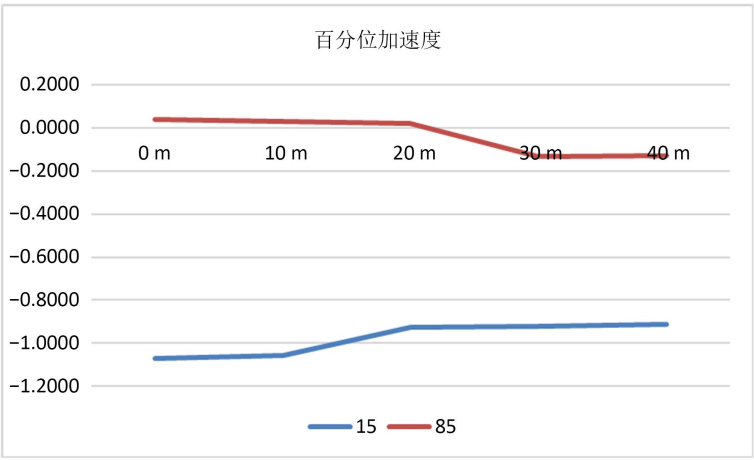


Figure 9. Fractional distribution in overall acceleration

图 9. 整体加速度中分数分布



**Figure 10.** Overall percentile acceleration distribution  
**图 10.** 整体百分位加速度分布

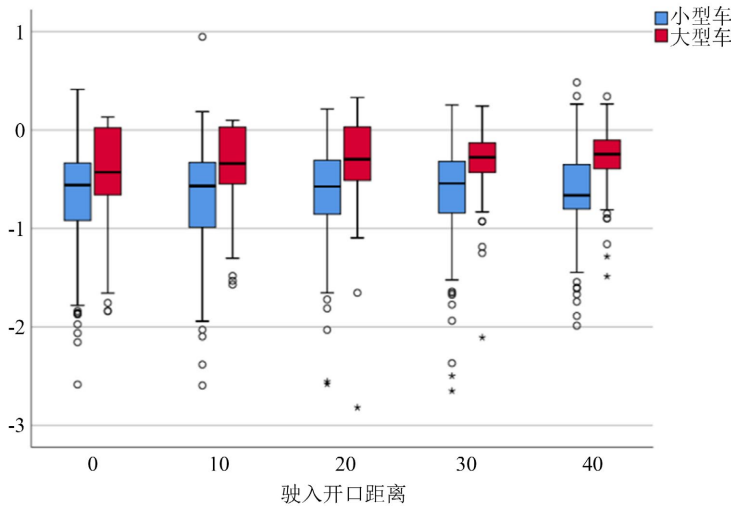
(2) 大型、小型车加速度分析

由图 11 箱线图可以看出,不同车型的加速度均随着驶入转序区距离增加,加速度分布逐渐缩小。大型车在 20~40 m 范围内,加速度分布迅速缩小到一个很小的范围。

由图 12 不同车型加速度中位数随驶入转序区距离图可以看出,所有车型均处于减速状态,大型车加速度处于不断上升的趋势,小型车加速度处于不断下降的趋势,大型车、小型车驾驶行为存在显著差异。

由图 13、图 14 百分位加速度随驶入转序区距离图可以看出,无论 15 位加速度还是 85 位加速度,小型车均处于减速状态,而从 85 位加速度来看,存在 15%的车辆,在前 40 m 范围内处于加速状态,在 40~50 m 范围内,也处于很小的减速。

由此可以推测,大型车驾驶员的驾驶行为更为保守,车速受转序区影响较小。而小型车驾驶员驾驶行为更加激进,进入转序区时车速较高,随后受道路条件影响,又迅速降低车速。驾驶员受道路、交通条件影响明显,交通条件可以在远距离进行观察,在进入转序区前便可以进行减速操作,随后为简化通过转序区的操作,缓慢降低减速度,符合调查表明车辆驶入转序区后减速度逐渐减低。



**Figure 11.** Acceleration box plot  
**图 11.** 加速度箱线图

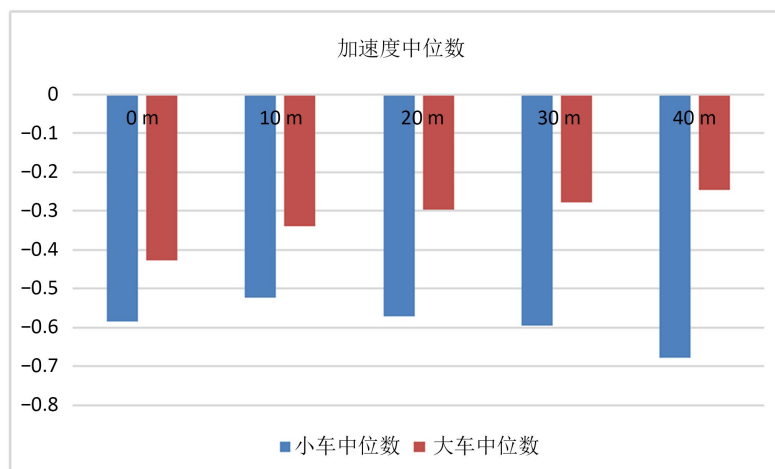


Figure 12. Fractional distribution in acceleration

图 12. 加速度中分数分布

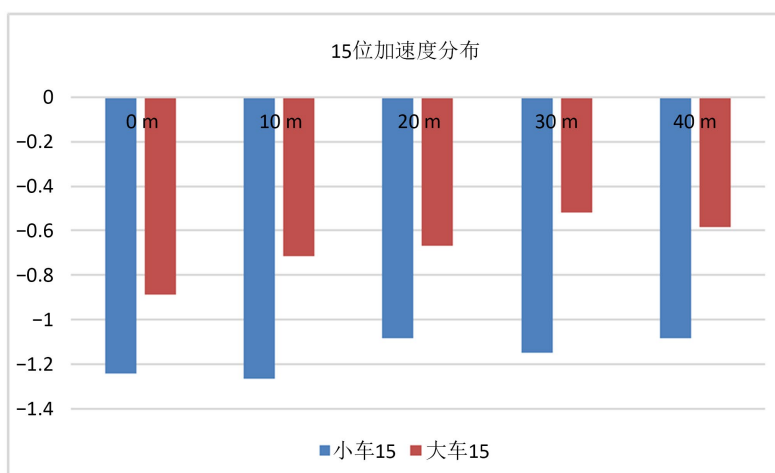


Figure 13. 15-position acceleration distribution

图 13. 15 位加速度分布

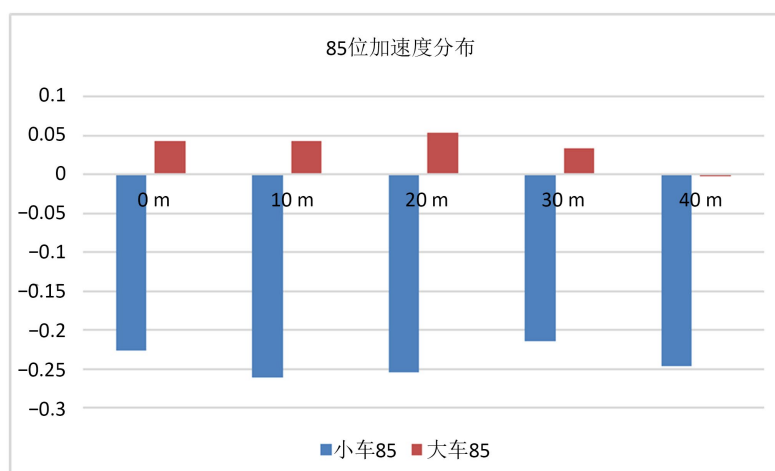


Figure 14. 85-position acceleration distribution

图 14. 85 位加速度分布

### 5. 转序区限速分析

依据现场实测, 转序区的运行车速特征如图 15~18 所见, 其 85 位车速处于 55~65 km/h 之间, 因此, 建议转序区保通设计车速不宜低于 60 km/h。

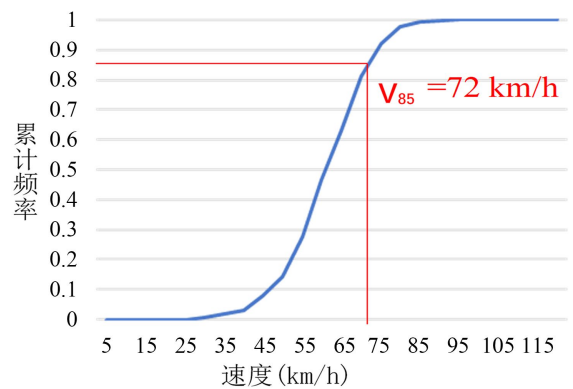


Figure 15. Cumulative speed distribution of small vehicles in the daytime on the transition section  
图 15. 转序区昼间小型车累计车速分布

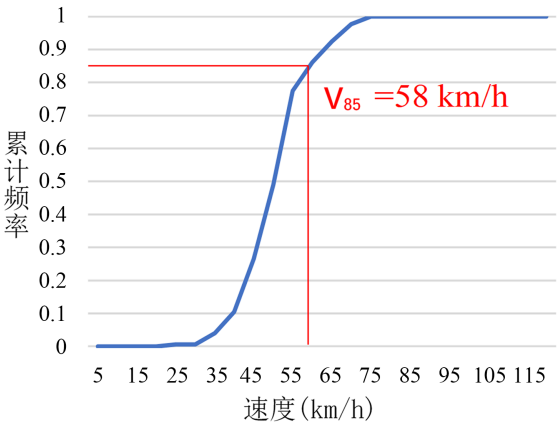


Figure 16. Cumulative vehicle speed distribution of large vehicles in the transfer area during the day  
图 16. 转序区昼间大型车累计车速分布

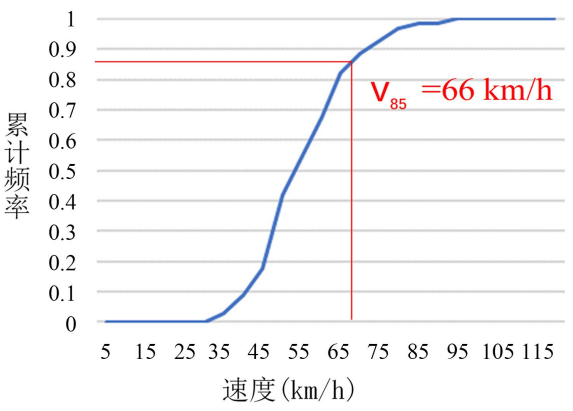
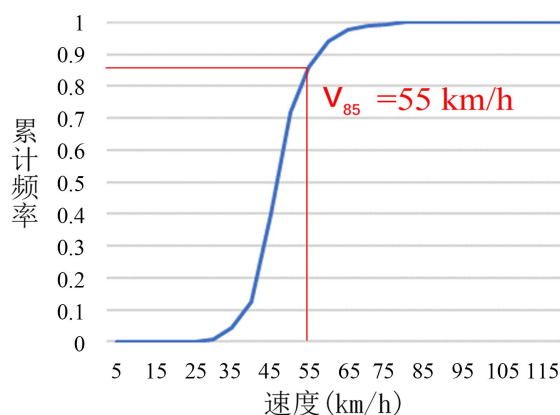


Figure 17. Cumulative speed distribution of small vehicles at the transfer area at night  
图 17. 转序区夜间小型车累计车速分布



**Figure 18.** Cumulative speed distribution of large vehicles in the transfer area at night

**图 18.** 转序区夜间大型车累计车速分布

## 6. 小结

交通转序区在高速公路改扩建施工期间作为重要的交通转换节点,是改扩建施工保通期间运行效率及运营安全的瓶颈路段,研究转序区运行速度特征对转序区速度控制及设计标准的确定提供了重要理论依据。基于本研究结果,车辆驶入转序区车速有明显下降,85 位车速处于 55~65 km/h 之间,建议交通转序区保通设计速度取 60 km/h,转序区平纵线形指标按 60 km/h 标准进行设计。

## 参考文献

- [1] 韩跃杰. 高速公路改扩建作业区交通组织及安全保障技术研究[D]: [博士学位论文]. 西安: 长安大学, 2012.
- [2] 孙智勇, 孙小端. 高速公路施工区车辆汇入的可接受间隙[J]. 吉林大学学报(工学版), 2012, 42(6): 1470-1474.
- [3] Fei, L., Zhu, H.B. and Han, X.L. (2016) Analysis of Traffic Congestion Induced by the Work Zone. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, **450**, 497-505. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.01.036>
- [4] Rista, E., Barrette, T., et al. (2017) Work Zone Safety Performance Comparison of Alternative Traffic Control Strategies. *Transportation Research Record*, **2617**, 87-93. <https://doi.org/10.3141/2617-11>
- [5] 王忠宇, 贺文雅, 杨航, 等. 基于轨迹数据的高速公路养护维修作业区车辆换道特性研究[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2018, 48(4): 166-172.
- [6] 何小洲, 过秀成, 吴平, 等. 高速公路施工区交通特性分析[J]. 公路, 2005(12): 110-115.