

文章编号: 1005-0523(2020)04-0075-07

DOI: 10.16749/j.cnki.jecjtu.2020.04.012

高速公路施工导行区上游过渡区长度设置研究

刘学强¹, 吕路², 樊祥喜^{3,4}, 孟凌霄^{3,4}, 刘焯志¹, 鲍庆伟¹, 徐海栋¹

(1. 中建筑港集团有限公司, 山东 青岛 266033; 2. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804;
3. 中建山东投资有限公司, 山东 济南 250002; 4. 中国建设基础设施有限公司, 北京 10037)

摘要: 高速公路改扩建期间通过设置导行区上游过渡区保障车辆由封闭车道平稳过渡到开放车道。实地采集滨莱高速路面拓宽、桥梁拼宽、互通改造、借对向车道通行、路基抬高、跨线桥、路改桥 7 种施工方案导行区上游过渡区交通流运行数据, 通过单因素方差分析表明, 互通改造与借对向车道通行导行区上游过渡区车头时距、运行车速不存在显著性差异。通过 UC-win/Road 驾驶模拟仿真实验, 验证了路面拓宽、桥梁拼宽、互通改造 3 种施工方案上游过渡区长度的理论计算结果满足仿真实验需求, 实际设置时可以采用按照可接受间隙理论计算得到的导行区上游过渡区长度。

关键词: 高速公路改扩建; 导行区; 单因素方差分析; 上游过渡区长度

中图分类号: U415 文献标志码: A

本文引用格式: 刘学强, 吕路, 樊祥喜, 等. 高速公路施工导行区上游过渡区长度设置研究[J]. 华东交通大学学报, 2020, 37(4): 75-81.

Citation format: LIU X Q, LV L, FAN X X, et al. Study on the lengths of upstream transition area in freeway reconstruction guidance section[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2020, 37(4): 75-81.

高速公路在公路交通运输中的作用日益显著, 沿线经济社会建设对其依赖不断加强, 因此保通交通组织是高速公路改扩建期间的一项重要工作。高速公路改扩建工程通过设置上游过渡区使车辆由封闭车道平稳汇入开放车道^[1], 设置合理的施工区上游过渡区对保障车辆运行安全具有重要作用。

有效的交通组织是高速公路保通施工的关键。常用的保通施工交通组织方式有半幅封闭借对向车道通行、半幅封闭绕行、封闭行车道、封闭路肩等^[2-4]。利用交通仿真技术研究不同交通组织形式下施工控制区各段落长度是一种有效方法^[5-6]。根据施工区上游过渡区长度设置影响因素, 过渡区长度计算模型的相关研究也较多^[7-8]。

高速公路施工方案与施工区交通组织方式是一对相互作用的关联体。姚斌以高速公路大修工程八车道、六车道以及匝道路段施工交通组织具体试验为例, 说明大交通量条件下高速公路施工时保通施工优于质量和成本控制的交通组织原则^[9]。《公路养护安全作业规程》(JTG H30-2015)对封闭车道, 封闭路肩, 借对向车道通行, 匝道施工等交通组织方式下交通安全设施设置方法和各施工控制区段落长度进行了规定^[1]。此外, 施工区上游过渡区车辆运行风险以及行车安全保障也是高速公路施工区的一个研究热点^[10-12]。

国内外专家针对高速公路施工区上游过渡区长度与车辆运行特性的研究较多, 但未区分不同施工方案、不同交通组织方式对上游过渡区长度设置带来的影响。由于现有规范仅针对公路养护维修施工控制区进行规定, 而一般公路养护维修与高速公路改扩建工程在施工工期等方面具有较大差异, 现有研究结论不能满足高速公路改扩建施工对上游过渡区长度设置的需要。

本文通过调研高速公路改扩建期间不同施工方案下交通流运行特性, 利用单因素方差分析对比不同施工方案之间车速、车头时距的显著性, 确定研究对象。设计了不同施工方案不同交通组织方式相结合的道路仿真场景, 利用驾驶模拟器进行实验; 通过分析不同过渡区长度条件下封闭车道上游车辆速度特征与可汇入概率, 为高速公路改扩建工程上游过渡区长度设置的合理取值提供参考。

收稿日期: 2019-11-14

基金项目: 中建股份科技研发计划资助(CSCEC-2017-Z-20)

作者简介: 刘学强(1975—), 男, 博士, 主要从事公路工程施工研究。

通信作者: 吕路(1991—), 男, 博士, 主要从事道路安全与环境工程研究。

1 施工作业导行区交通流参数调查

1.1 调查路段

在 S29 滨莱高速进行施工作业导行区交通流参数调查。该项目为高速公路改扩建项目, 扩建内容包括路基、桥涵、分离式立交、通道加宽扩建、路面改造加宽、新建扩建互通、环保绿化景观设计等工程。改扩建方式以两侧拼宽为主, 局部单侧分离, 部分新建八车道。本次调研范围为 S29 滨莱高速滨州至博山段 K58+467.8~K98+753.7, 该路段设计速度 120(100) km/h, 施工区限速 60 km/h。

根据滨莱高速改扩建施工交通组织方案, 共选取 7 处不同类型的施工作业区进行数据采集, 分别是路面拓宽(挖方段)施工区、桥梁拼宽施工区、互通改造施工区、借用对向车道通行施工区、路基抬高施工区、跨线桥和路改桥施工区。调研断面位置及路段线形特征如表 1 所示。

表 1 调研断面位置及路段线形特征

Tab.1 The line characteristics of investigation freeway section

序号	施工方案	调研路段桩号	平曲线半径/m	纵坡/%
1	路面拓宽	K85+900	8 000	-1.363
2	桥梁拼宽	K84+432	∞	-1.504
3	互通改造	K82+090	4 370	0.473
4	借对向车道通行	K82+700	4 370	0.525
5	路基抬高	K90+150	3 221	-3.000
6	跨线桥	K85+780	8 000	-1.363
7	路改桥	K71+570	2 200	-0.793

1.2 调研设备

采用 Metro-Count 5 600 车辆分型统计系统进行交通量调查。Metro-Count 5 600 车辆分型统计系统可检测 1-2 条车道交通流数据, 分车道统计数据, 可获得每一辆车的详细信息, 如日期时间、车速、大轴距、车头时距、时间间距、轴数、轴组数、车型等。

1.3 数据采集方案

为了降低时间对数据采集质量的影响, 采集时间均为工作日的上午 8 点至下午 6 点。仪器布置全程在交通导行人员协助下进行, 将其放置于隐蔽地点以防止驾驶员的刻意减速行为。数据采集断面位于施工导行区上游过渡区前的开放车道上。其车道布置方案如图 1。

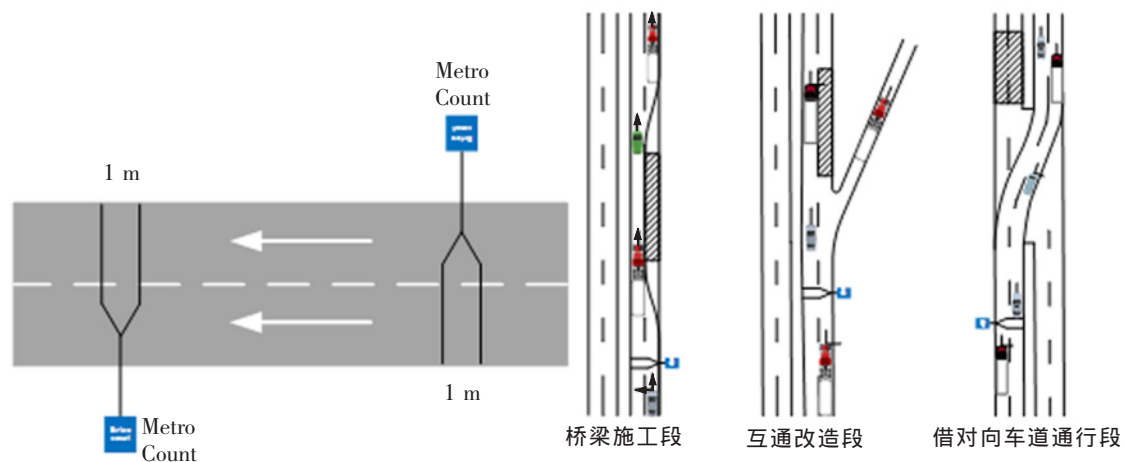


图 1 调研设备 Metro-Count 布置方案

Fig.1 Investigation equipment Metro-Count layout scheme

2 不同施工方案导行区交通流特征显著性分析

2.1 数据预处理

由于各采集断面交通流参数数据量较大,根据相关文献在样本量较大时,车头时距和运行车速各总体分布均为正态分布^[13-14]。数据预处理时将与平均值之差的绝对值超过 3σ 的数据作为异常值进行剔除,即删除数据中 $|X-E(X)| \geq 3\sigma$ 的样本值,该方法同样用于后期驾驶模拟实验所测数据的初步处理。最终得到各路段车辆数及平均小时交通量,见表 2。

表 2 调研路段交通量及调研车辆总数
Tab.2 The traffic volume and total vehicles of investigation freeway section

施工方案	调研时段	调研车辆总数/veh	交通量/(veh/h)	预处理后车辆数/veh	小客车数占比/%
路面拓宽	9:45:05~16:31:29	3 899	576	3637	82.27
桥梁拼宽	9:52:23~12:23:15	956	380	922	72.89
互通改造	9:29:53~11:09:45	465	279	441	76.09
借对向车道	12:08:55~16:14:39	1 290	316	1 239	65.29
路基抬高	9:23:33~10:57:31	733	473	516	81.20
跨线桥	15:49:52~17:04:23	860	697	698	82.38
路改桥	10:05:36~11:16:00	578	488	557	72.53

由表 2 可知,调研路段交通量最大值小于 700 veh/h,调研路段公路服务水平较高。开放车道小客车数占比大于 65%,大型车对封闭车道车辆可汇入的最小间隙影响较小^[8]。因此在进行数据计算时不考虑车型差异。

2.2 车头时距显著性分析

对各施工方案导行区起点车头时距进行分析,车头时距分布箱型图如图 2 所示。桥梁拼宽、互通改造、借对向车道通行施工区上游过渡区车头时距平均值均大于 5 s。横向对比发现,互通改造时导行区车头时距的各项指标值最大,可能与由互通立交驶离高速的车辆干扰有关。其次为借对向车道通行的情况,造成其车头时距较大的直接原因为车辆运行速度降低,间接原因为车辆借对向车道通行时需要经过中央分隔带进行连续转弯,客观操作的复杂性与转弯条件的限制导致驾驶员保持车距通过施工路段。桥梁拼宽段车头时距平均值为 6.3 s,原因可能是桥梁拼宽设置的临时路侧护栏对驾驶员产生了较大的心理压力。路面拓宽、路基抬高、跨线桥导行区的车头时距分布基本相同。

为了定量说明不同施工方案导行区上游过渡区车头时距分布的显著性差异,利用 SPSS 软件对 7 种施工方案的车头时距进行单因素方差分析。分析结果表明:在显著性水平 $\alpha=0.05$ 的条件下,路面拓宽、路基抬高、跨线桥 3 种施工方案相互之间均不存在显著差异 ($P=0.966, P=1.000, P=0.995$),可作为一个分析组;路改桥与跨线桥之间不存在显著性差异 ($P=0.083$),但与其他各施工方案均存在显著性差异,因此,需对该类施工方案进行单独分析;桥梁拼宽与互通改造 ($P=0.973$)、互通改造与借用对向车道通行 ($P=0.346$) 之间不存在显著性差异。虽然桥梁拼宽与借对向车道通行存在显著性差异,但选用互通立交改造可以同时代表桥梁拼宽与借用对向车道通行

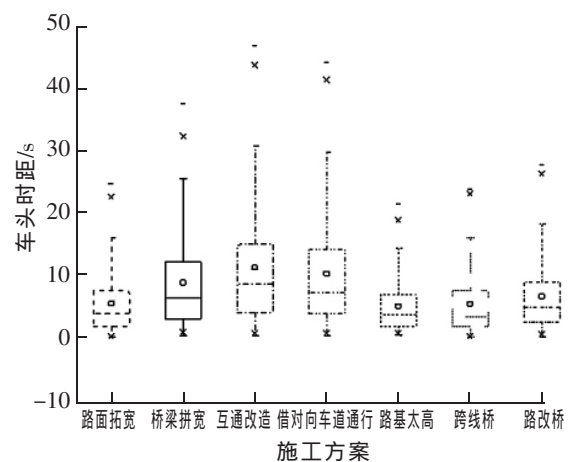


图 2 不同施工方案导行区上游过渡区车头时距箱型图
Fig.2 Upstream transition area headway box-plot of road guidance

2.3 运行车速显著性分析

不同施工方案导行区上游过渡区运行车速箱型图如图3所示。运行速度的分布规律与车头时距的分布规律一致。车辆在互通立交区的断面车速统计值最低,数据离散度最小;借对向车道通行的导行区过渡区起点,不仅其平均车速值较小,而且车速离散度非常大,具体原因与车头时距显著性分析结果相同。其余施工作业导行区上游过渡区车速差异性较小。总的来看,不同施工作业导行区上游过渡区平均速度均大于限速值 60 km/h。

对不同施工方案导行区上游过渡区运行车速进行单因素方差分析。多重比较结果显示,路面拓宽、桥梁拼宽、路改桥相互之间均不存在显著性差异 ($P=0.096, P=0.988, P=0.919$), 互通改造与借用对向车道通行之间不存在显著性差异 ($P=0.402$), 路基抬高与桥梁拼宽 ($P=0.351$)、路基抬高与跨线桥 ($P=0.215$) 之间不存在显著性差异,虽然桥梁拼宽与跨线桥之间存在显著性差异,但是路基抬高可以同时反应上述两种施工方案。

综合车头时距与运行车速显著性分析结果,互通立交改造与借对向车道通行两种施工方案不存在显著性差异,其余施工方案的车头时距或运行车速均存在显著性差异。

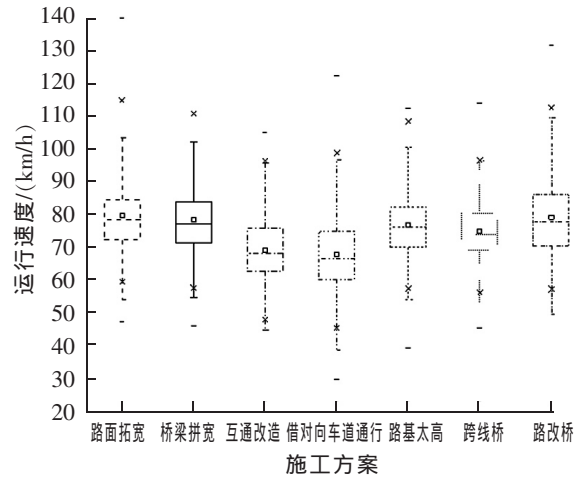


图3 不同施工方案导行区上游过渡区运行速度箱型图
Fig.3 Upstream transition area velocity box-plot of road guidance

3 基于驾驶模拟的施工作业导行区上游过渡区长度设置

3.1 驾驶模拟实验场景

根据施工作业导行区上游过渡区的显著性检验结果,选择路面拓宽、桥梁拼宽、互通改造3种施工方式进行上游过渡区长度设置研究。

1) 上游过渡区长度设计值

根据可接受间隙理论建立的高速公路改扩建期间上游过渡区长度计算模型和实测交通流数据进行上游过渡区长度理论设计值计算^[15]。首先需要确定实测交通流数据的车头时距分布模型。采用爱尔朗分布拟合车头时距分布,结果如图4所示。根据概率密度曲线与卡方检验结果可知,路面拓宽、桥梁拼宽施工作业方案的车头时距均服从一阶爱尔朗分布,互通改造导行区上游过渡区车头时距服从二阶爱尔朗分布。

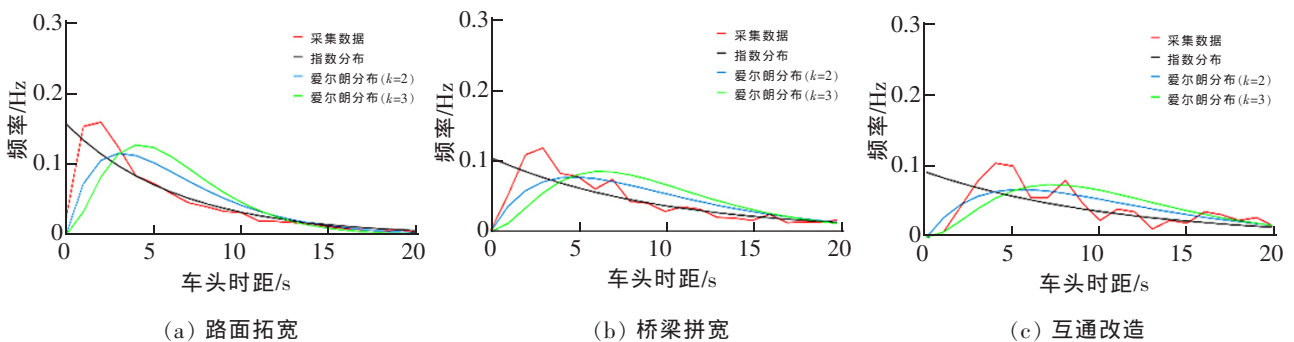


图4 不同施工方案导行区上游过渡区车头时距拟合结果

Fig.4 Upstream transition area headway fitting result

为了保障改扩建上游过渡区长度设置能够供大多数车辆不经排队即可由封闭车道上游汇入开放车道,在利用模型计算其长度时,封闭车道上游车速取限速值 60 km/h。车辆可汇入开放车道概率取 95%,按照刘天龙研究中上游过渡区长度计算方法^[15],其计算结果如表 3 所示。

表 3 不同施工方案导行区上游过渡区长度计算结果
Tab.3 Upstream transition area lengths calculation result

施工形式	爱尔朗阶数	车辆到达率/(veh/s)	开放车道车速/(m/s)	控制区限速/(m/s)	上游过渡区长度/m
路面拓宽	1	0.18	21.69	16.67	120
桥梁拼宽	1	0.11	21.34	16.67	85
互通改造	2	0.09	18.86	16.67	65

2) 导行区其他组成部分指标值设计

施工作业控制区中警告区、缓冲区、工作区、下游过渡区以及终止区长度分别按照《公路工程技术标准》(JTG B01-2014)^[16]、《公路养护安全作业规程》(JTH H30-2015)以及《道路交通标志标线》(GB 5768-2009)规定取值。本次实验中根据实验路段限速 60 km/h 的实际情况,警告区长度取 1 600 m,纵向缓冲区长度为 200 m,工作区长度根据施工方案在 50~200 m 之间取值,下游过渡区长度与终止区长度均取 30 m。

3) 仿真实验路段设计

仿真实验路段按照 S29 滨莱高速 K54+900~K124+240 线形资料设计,主线长 69.34 km。平面线形最小圆曲线半径 1 500 m,最小缓和曲线长度 270 m,直线路段路拱横坡为-2%,曲线路段按照《公路工程技术标准》要求设置超高。横断面采用 24.5 m 宽的标准断面形式,即 2.5(硬路肩)+2×3.75(行车道)+0.75(路缘带)+3(中央分隔带)+0.75(路缘带)+2×3.75(行车道)+2.5(硬路肩)。为了简化道路纵坡变化对本实验带来的影响,实验路段设置不大于 1%的纵坡。在视线开阔,线形良好的实验路段上设置包括关闭车道、压缩车道、借用对向车道、借用硬路肩 4 种交通组织方式和路面拓宽、桥梁拼宽、互通改造 3 种施工方案相互结合的 15 个施工控制区导行段。

3.2 驾驶员与实验设备

本次招募 16 名驾驶员以小客车为实验车辆进行实验。其中男性驾驶员 13 名,女性驾驶员 3 名;驾龄小于 5 年的驾驶员有 12 名,其余 4 名驾驶员驾龄在 5~10 年之间。

利用由日本 Forum8 开发的 UC-win/road 驾驶模拟器进行实验。该软件主要提供了地形、道路构造、模型、交通流及自然环境的模拟,并能够连接多种性能与规模的驾驶模拟控制设备,进行车辆驾驶模拟并利用专用程序进行驾驶车辆及周边交通流的数据采集^[17-18]。

为了使驾驶员能够熟悉模拟器的操作方法和适应模拟驾驶环境,实验前使每名驾驶员先练习通过 20 km 的模拟器自带道路场景,然后驶入实验场景。在每个导行控制区中均由封闭车道上游经过变道驶入相邻的开放车道。

3.3 基于驾驶模拟实验数据的上游过渡区长度设计值检验

根据获得的驾驶模拟实验数据,通过反算车辆在驾驶模拟实验过程中成功汇入开放车道的概率,检验上游过渡区长度的设置值是否满足实际设置需要。

在路面拓宽、关闭车道施工区域,车辆到达率为 0.18 veh/s;爱尔朗分布阶数为 1,开放车道车速为

19.96 m/s, 上游过渡区长度为 120 m, 车辆成功汇入开放车道的概率如式 1

$$P(s) = 1 - e^{-\frac{e^{-0.18 \times 1 \times \frac{3.785 + 0.213 \times 19.96}{1.727}}}{15.65} \times 120} = 96.4\% \quad (1)$$

其他导行区上游过渡区车辆能够成功汇入开放车道的概率计算结果如表 4 所示。

表 4 上游过渡区车辆能成功汇入开放车道的概率
Tab.4 Probability of vehicle joining the opening lane in upstream transition area

实验场景	施工形式	组织方案	平均车速/(m/s)	汇入概率	符合要求
1	路面拓宽	关闭车道	15.65	0.964	符合
2	路面拓宽	压缩车道	14.41	0.973	符合
6	路面拓宽	借用硬路肩	14.06	0.975	符合
7	桥梁拼宽	关闭车道	15.30	0.962	符合
8	桥梁拼宽	压缩车道	13.26	0.977	符合
12	桥梁拼宽	借用硬路肩	16.11	0.955	符合
13	互通改造	关闭车道	12.74	0.983	符合
14	互通改造	压缩车道	13.76	0.978	符合
15	互通改造	借用硬路肩	11.71	0.988	符合

由表 4 可以看出, 各实验场景下上游过渡区车辆可汇入开放车道概率 $P(s)$ 均大于 95%, 所以上游过渡区长度设置满足要求。在施工限速路段, 如果进行严格交通管理, 开放车道车速会小于限制车速 60 km/h, 因此上述过渡区长度设置尚有一定富余。

对比相同交通组织条件下不同施工方案车辆可汇入开放车道概率发现, 互通改造、桥梁拼宽、路面拓宽路段的车辆可汇入概率呈现出逐级递减现象, 这与驾驶员在互通改造施工区域保持较大车头时距, 驾驶行为更为谨慎有关。

3.4 不同施工作业导行区上游过渡区长度设置

根据车辆可汇入开放车道概率计算模型, 假定上游过渡区车辆可汇入开放车道概率为 95%, 施工控制区开放车道限速 60 km/h, 可以计算在不同爱尔朗分布阶数、开放车道交通量和施工方案条件下上游过渡区长度设置值(结果取为整 5 m), 如表 5 所示。

表 5 上游过渡区长度设置值
Tab.5 Lengths of upstream transition area

施工方案	爱尔朗分布阶数	开放车道每车道交通量/(veh/h)								
		100	200	300	400	500	600	700	800	900
路面拓宽	1	55	65	75	85	100	120	140	165	195
路面拓宽	2	50	55	60	75	90	110	135	170	215
桥梁拼宽	1	55	65	75	90	105	120	140	165	195
桥梁拼宽	2	50	55	65	75	90	110	135	170	215
互通改造	1	45	55	65	75	90	105	120	145	165
互通改造	2	40	45	55	65	75	95	115	145	185

由表5可知,在相同爱尔朗分布阶数条件下,随着开放车道交通量的增长,不同施工方案之间路面拓宽与桥梁拼宽上游过渡区长度设置值相近,互通改造较路面拓宽与桥梁拼宽上游过渡区长度设置值小。在相同施工方案条件下,随着开放车道交通量的增长,二阶爱尔朗分布较一阶爱尔朗分布上游过渡区长度设置值增长速度快。本研究结论较公路养护安全作业规程(JTG H30-2015)^[1]所给定的在限速60 km/h 封闭车道宽度3.75 m 条件下,上游过渡区长度最小值为120 m 的应用范围广;较韦勇球^[5]等研究中所给出的上游过渡区长度最小值应大于30 m 的可操作性强,因此具有一定的应用价值。

4 结论

通过对高速公路改扩建期间不同施工方案、不同交通组织方式下交通流数据的采集与分析,结合可接受间隙理论建立的高速公路改扩建期间上游过渡区长度设置模型,求得不同施工方案条件下上游过渡区长度。设计了包含不同施工方案、不同交通组织方式相互结合的15个驾驶模拟仿真场景,并在仿真实验场景中利用各施工方案上游过渡区长度计算结果。将仿真实验上游过渡区车辆运行速度平均值代入车辆可汇入开放车道概率计算模型,结果表明车辆可汇入概率均大于95%,说明上游过渡区长度设置的合理性。最后在假定车辆可汇入概率为95%,施工控制区开放车道限速为60 km/h 的条件下,由上游过渡区长度设置模型得到不同爱尔朗分布阶数、不同开放车道交通量条件下所需要的上游过渡区长度设置值。

参考文献:

- [1] 交通运输部公路科学研究院. 公路养护安全作业规程(JTG H30-2015)[S]. 北京:交通运输部公路科学研究院,2015.
- [2] 贺海,袁继东,姚晓春. 津滨高速公路改扩建工程施工期间交通组织研究[J]. 中外公路,2011,31(2):273-276.
- [3] 徐树冠. 高速公路大修工程施工区安全与交通组织研究[J]. 交通标准化,2013(10):61-64.
- [4] CHEN C H, SCHONFELD P. Work zone lengths for a four-lane road with an alternate route[J]. Journal of Transportation Engineering, 2005, 131(10):780-789.
- [5] 韦勇球,赵利苹,袁春建,等. 高速公路改扩建交通组织仿真[J]. 长安大学学报(自然科学版),2012,32(4):38-43.
- [6] 彭安琪,欧喜文,芮贵春,等. 高速公路扩建项目施工区交通组织方案优化[J]. 公路交通科技(应用技术版),2014,10(3):295-299.
- [7] 交通运输部公路科学研究院. 道路交通标志和标线(GB 5768-2009)[S]. 北京:交通运输部公路科学研究院,2015.
- [8] 孙智勇,孙小端,荣建. 高速公路施工区上游过渡区的车辆汇入模型[J]. 北京工业大学学报,2013,39(4):594-598.
- [9] 姚斌. 广佛高速公路大修工程路面施工交通组织[J]. 中外公路,2004(4):32-34.
- [10] MORGAN J F, DULEY A R, HANCOCK P A. Driver responses to differing urban work zone configurations[J]. Accident; analysis and prevention, 2010, 42(3):978-985.
- [11] 徐鹏,蒋凯,王泽华,等. 基于粗糙集的道路交通事故客观因素显著性分析[J]. 华东交通大学学报,2017,34(6):66-71.
- [12] ZHU Z, EDARA P, SUN C. Case study of an alternative merging sign design for temporary traffic control in work zones[J]. Journal of Transportation Engineering, 2016, 142(1):05015005.
- [13] FITZPATRICK K, ELEFTERIADOU L, HARWOOD D W, et al. Speed prediction for two lane rural highways[J]. Drivers, 2000.
- [14] 阎莹,王晓飞,张宇辉,等. 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.
- [15] 刘天龙. 基于间隙接受理论的高速公路养护作业区过渡缓冲段长度设计研究[J]. 新疆交通科技,2014(6):28-33.
- [16] 中交第一公路勘察设计研究院. 公路工程技术标准(JTG B01-2014)[S]. 西安:中交第一公路勘察设计研究院,2014.
- [17] 金淳,舒宏. 保税港区运作系统规划的VR仿真建模与实现[J]. 系统仿真学报,2010,22(4):1042-1046.
- [18] 冯志慧. 基于驾驶员认知特征和视觉特性的高速公路景观设计方法研究[D]. 西安:长安大学,2012.

Research on Aerodynamic Resistance and Noise of High-Speed Train with Convex Non-Smooth Surface

Zhu Haiyan, Hu Huatao, Yin Bichao

(School of Mechatronics & Vehicle Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: In order to reduce the aerodynamic drag and noise of high-speed trains in operation, improve the train operation efficiency, save energy consumption and improve the comfort of passengers, the convex hull non-smooth surface drag reduction technology is applied to the field of high-speed trains in this paper. Taking the CRH3 high-speed train as the research object, the turbulence characteristics are controlled by adding convex hulls at the head and tail of the car body to achieve the effects of drag reduction and noise reduction. Firstly, the simplified model of non-smooth surface CRH3 high-speed train was built by PRO/Engineer. The model was divided into unstructured grids by ICEM CFD software. Then the fluent fluid simulation was used to simulate the train with steady-state running speed of 300 km/h based on the standard model to calculate the air resistance. Finally, the train with good aerodynamic performance is simulated by using broad band noise. The results show that the convex hull array structure with a pitch of 460 mm, a radius of 40mm and a height of 10 mm around the wind screen has a positive effect on reducing the aerodynamic drag. The resistance value is 3 715 N, and the drag reduction rate is 1.77%. The parameter convex hull is non-smooth and has a general noise reduction effect on the upper edge of the train skirt, with the maximum noise reduction rate of 1.72%, and noise is added to the nose and the top of the car. It can be seen that by adding a convex hull in the head car, the turbulence characteristics of the boundary layer can be changed to reduce the aerodynamic drag of the train and reduce the aerodynamic noise at some positions.

Key words: vehicle engineering; high-speed train; aerodynamics; non-smooth surface of convex hull; drag reduction; noise reduction

(上接第 81 页)

Study on the Lengths of Upstream Transition Area in Freeway Reconstruction Guidance Section

Liu Xueqiang¹, Lv Lu², Fan Xiangxi^{3,4}, Meng Lingxiao^{3,4}, Liu Xuanzhi¹, Bao Qingwei¹, Xu Haidong¹

(1. China State Construction Port Engineering Group Corp., Ltd, Qingdao 266033, Shandong, China; 2. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 3. China State Construction Engineering Investment Corporation Shandong Branch, Jinan 250002, Shandong, China; 4. China State Construction Engineering Infrastructure Corporation, Beijing 10089, China)

Abstract: During the reconstruction and expansion of the expressway, the upstream transition zone was set up to ensure the smooth transition of vehicles from the closed lane to the open lane. In this paper, traffic flow operation data of 7 construction schemes of Binlai expressway were collected on the spot, including road widening, bridge widening, interchange reconstruction, lane passage by using the road of opposite side, roadbed elevation, flyover and road to bridge. Single factor analysis of variance showed that there was no significant difference in headway and running speed between interchange reconstruction area and lane passage guide zone. Through the UC-win/Road driving simulation experiment, it is verified that the theoretical calculation results of the length of the upstream transition zone of the three construction schemes of road widening, bridge width and interchange reconstruction meet the requirements of the simulation experiment. In the actual setting, the length of the upstream transition zone of the leading road can be calculated according to the acceptable gap theory.

Key words: freeway reconstruction; road guidance area; single factor analysis of variance; lengths of upstream transition area