

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2023.05.004

改扩建高速公路转序段开口合理长度及间距研究

李美玲¹, 姚坤¹, 齐迪², 雷涛², 张昱³

(1. 山东建筑大学 交通工程学院, 山东 济南 250101; 2. 齐鲁高速公路股份有限公司, 山东 济南 250101;

3. 山东省交通科学研究院, 山东 济南 250102)

摘要:对高速公路进行不中断交通改扩建时,因左右幅施工进度不同步引起车流在不同路幅间转换,形成转序段。文中以山东省某“四改八”高速公路改扩建工程为研究对象,根据由几何线形模型和换道模型推导的转序段中央分隔带开口长度,结合设计单位的推荐值,确定转序段中央分隔带开口长度范围,在此基础上构建微观仿真模型,以行程车速、延误、冲突率为评价指标进行仿真分析,结果显示最优转序段中央分隔带开口长度为 100 m;以路段整体服务水平为评价指标,构建不同中央分隔带开口间距下路段服务水平计算模型,计算得中央分隔带开口间距以 3 km 为宜,最好不小于 2 km。

关键词:高速公路;改扩建;转序段;中央分隔带;开口长度;开口间距

中图分类号:U491.255

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2023)05-0013-05

1 问题描述

采用边施工、边通行的策略进行高速公路改扩建时,由于路段左右幅面上桥梁、路基、涵洞等构造物的施工工艺与工期不同,车辆在某幅面行驶时不得不跨越中央分隔带进入另一幅面通行,这个转换区域称为转序段(见图 1)。转序段中央分隔带开口(以下简称转序段开口)长度与间距不仅影响行车舒适性,也影响整个路段的服务水平,须研究其长度与间距的最优值。

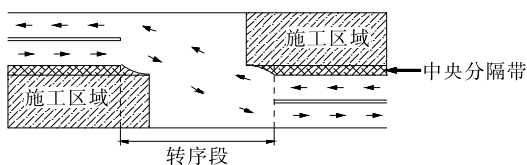


图 1 改扩建高速公路转序段示意图

现有规范对转序段开口长度没有明确规定。有些学者对开口长度进行了研究,如赵一飞等基于高速公路改扩建区借道通行时车辆的运行轨迹建立不同转换条件下中央分隔带开口长度计算模型,根据不同限速值计算开口长度^[1];祁雪梅等分析了不同中央分隔带开口长度下交通流特性,提出了中央分隔带开口长度对通行能力的修正系数^[2];孙智等基于连续反向圆曲线换道模型,考虑中央分隔带宽度、施工区限速、车道宽度,确定了高速公路改扩建中借对向车道行驶时中央分隔带开口长度理论值^[3];贾

庸等运用微观交通仿真模型分析得到了不同交通量、大型车率下典型高速公路施工区三车道中央分隔带开口长度较优值^[4];张良陈等提出了满足基本功能需求的中央分隔带最小宽度范围^[5]。

JTG H30—2015《公路养护安全作业规程》仅规定了养护维修施工区各组成部分的长度,对扩建工程转序段开口长度与间距没有明确规定^[6]。不同转序段开口长度对高速公路养护作业区通行的影响程度无法确定,也无法确定最优开口范围,大都是基于研究对象和目的应用不同方法确定开口段长度,没有统一、规范的确定方法。由于转序段开口长度与车道数、车速控制、交通量、交通组成有关,本文应用换道模型、几何线形模型计算开口长度,并进行实际工程调研,确定开口长度范围,在该范围内,以车辆组成为定量、限速策略和饱和度为变量构建微观仿真模型研究最优转序段开口长度和间距。

2 工程概况

以山东省某“四改八”高速公路改扩建工程为研究对象,该工程交通组织阶段包括正常双向四车道通行、车道两侧施工,半幅双向三车道通行、半幅路段施工,半幅双向两车道通行、半幅路段施工,正常双向八车道通行。4 种交通组织阶段形成不同转序段的转序方式分别为双—双方式、单—双方式、双—单方式、单—单方式(见图 2)。定义转序前后的内

侧车道之间横向距离为横向跨度,根据横向跨度的不同,各种转序方式有大、小跨度之分。

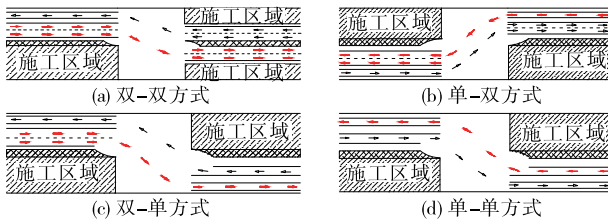


图2 高速公路改扩建期间转序段的转序方式

3 转序段开口长度范围研究

3.1 几何线形模型推导的理论规范值

高速公路改扩建交通组织中包含4种转序段开口车道变换情况,除单向双车道过渡到对向单车道外,其他情况车流从左半幅进入转序段开口段为减速过程,从转序段开口段进入右半幅为加速过程。根据转序段开口处驾驶行为需求,可将转序段开口长度划分为减速段长度 L_1 和加速段长度 L_2 。因加减为对称过程,仅对减速过程进行研究。

根据匀变速直线运动公式,加减车道长度可按式(1)计算。

$$L_1 = \frac{v_1^2 - v_2^2}{25.92a} \quad (1)$$

式中: v_1 为改扩建施工路段设计速度; v_2 为车辆在转序段上转序车道减速后的速度(末速度); a 为减速段减速度。

按照车辆在改扩建施工路段设计速度 v_1 为80 km/h,在转序段上转序车道减速至 v_2 (分别为40 km/h、50 km/h、60 km/h、70 km/h)计算减速段所需长度。从驾驶员舒适性角度考虑,减速段减速度 a 不大于 1.3 m/s^2 ,按式(1)计算,得到车辆不同降速情况下减速段长度和转序段开口长度(见表1)。

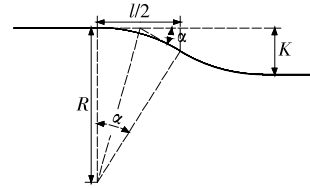
表1 不同减速条件下减速段长度和转序段开口长度

末速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	减速段长度/m	转序段开口长度/m
40	143	286
50	116	232
60	83	166
70	45	90

单向双车道过渡到对向单车道的过程中,终端存在短暂合流阶段,转序段开口长度可适当增大。

3.2 换道模型推导的理论规范值

按照改扩建期间4个交通组织阶段对标线的划分,横向跨度分别取7.75 m、13.75 m、21.50 m、23.25 m。参考文献[1],根据车道变换模型(见图3)计算转序段开口长度范围。



R 为转弯半径(m); l 为转序段开口长度(m); K 为横向跨度(m);
 α 为转弯角度

图3 车辆换道简化模型

假定车辆在转序段做速度为 v 的匀速运动,根据力矩平衡方程及车辆转弯所受圆周力公式推导出转弯半径 R 为:

$$R = \frac{v^2}{127\varphi_h} \quad (2)$$

式中: φ_h 为横向摩擦阻力系数,取0.15。

分析一侧纵向缓冲区,根据图3,有:

$$\begin{cases} R^2 = \left(\frac{l}{2}\right)^2 + \left(R - \frac{K}{2}\right)^2 \\ \frac{l}{2} = R \tan \frac{\alpha}{2} (1 + \cos \alpha) \end{cases} \quad (3)$$

转弯角度 α 为:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{R - K/2}{R}\right) \quad (4)$$

转序段开口长度为:

$$l = 2R \sin \alpha = 2R \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} \quad (5)$$

不同横向跨度和限速条件下转序段开口长度计算结果见表2。

表2 不同横向跨度和限速条件下转序段开口长度

限速/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	不同横向跨度(m)下转序段开口长度/m			
	7.75	13.75	21.50	23.25
40	50.43	66.560	82.22	85.27
50	63.31	83.837	104.04	108.00
60	76.15	101.02	125.65	130.52
70	88.96	118.14	147.17	152.91

3.3 长度范围确定

几何线形模型推导的高速公路改扩建转序段开口长度取值范围为100~300 m,换道模型推导的高速公路转序段开口长度取值范围为50~155 m。该

工程设计单位给出的长度一般大于 100 m。综上,仿真试验中高速公路改扩建工程转序段开口长度取为 100~500 m。

4 仿真场景构建与方案设计

针对上述转序段不同开口类型构建几何模型,输入背景参数,并对仿真参数进行标定,计算转序段最优开口长度与间距。

4.1 仿真场景构建

4.1.1 仿真模型构建与背景参数设置

转序段开口仿真路段由警告区前的基本路段、警告区、转序段开口部分、开口后的基本路段组成,限速研究范围为警告区和转序段开口部分。警告区前的基本路段长度取为 500 m,警告区长度按照《公路养护安全作业规程》^[6]的规定取为 1 600 m,开口后基本路段长度取为 100 m。以转序段开口长度为变量。仿真模型见图 4。

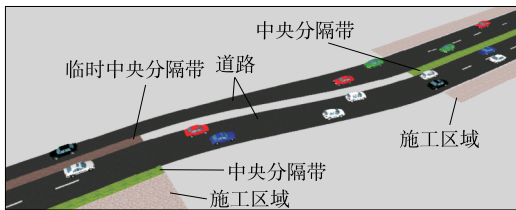


图 4 转序开口段仿真模型

在天气良好、路况正常的情况下采集高速公路改扩建期间各观测点的车辆组成数据,取其均值进行计算,得小汽车、货车、大客车数量之比为 0.785 : 0.160 : 0.055。考虑低、中、高饱和度 3 种水平的交通量,转序段限速值分别设置为 40 km/h、60 km/h、70 km/h。

4.1.2 仿真参数标定

根据高速公路改扩建期间地点车速调查数据,对仿真模型的期望车速进行设定(见表 3)。

表 3 期望车速标定 单位:km/h

期望车速	最小车速	15%位车速	50%位车速	85%位车速	最大车速
40	15	33	38	43	70
50	19	32	38	44	71
60	21	47	53	58	81
70	36	51	59	69	90
80	55	68	78	86	105
90	53	69	78	88	111
100	48	71	82	95	116

采用 Wiedemann99 跟驰模型进行分析。鉴于该模型的参数较多,参考文献[7]中微观交通仿真试验模型参数敏感性分析方法,选取流量、平均速度、延误、行程时间和排队长度 5 个标定指标,停车间距等 14 个微观参数及随机种子进行敏感性分析。若敏感性评价指标 $P > 1.5$,则判定仿真模型微观参数对标定指标有影响。选取车头时距、跟车变量、振动加速度、停车的加速度作为标定参数。

通过正交试验进行仿真参数标定。参数标定的实测数据采集地点为大跨度转序段开口双车道变单车道后的单车道直行路段,实测流量为 1 450 pcu/h。以仿真输出流量 Q' 与实测流量 Q 的误差 ϵ 为评价指标,考虑到交通调查误差及道路交通运行状态本身的随机性,当 $\epsilon = |Q' - Q| / Q < 5\%$ 时认为仿真值和实际调查数据具有较好的拟合度,可以接受。

取正交试验得到的最优参数组合值进行仿真,仿真输出流量为 1 428 pcu/h,与实测值的误差为 1.5%,在可接受范围内。

对试验结果进行极差分析,选取各因素最小误差对应的值,最终确定车头时距=1 s、跟车变量=5 m、振动加速度=0.6 m/s²、停车的加速度=7 m/s²。

4.2 仿真方案设计(见图 5)

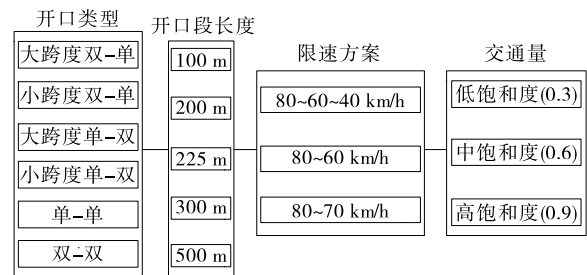


图 5 高速公路改扩建期间转序段开口长度仿真方案

按照前文推算的开口长度范围 100~500 m,选取 100 m、200 m、225 m、300 m、500 m 5 种仿真长度,根据大跨度双车道变单车道、小跨度双车道变单车道、大跨度单车道变双车道、小跨度单车道变双车道、单车道不变、双车道不变 6 种开口类型,0.3、0.6、0.9 3 种饱和度及 80~60~40 km/h、80~60 km/h、80~70 km/h 3 种限速策略进行方案设计,对不同开口类型进行不同限速方案和饱和度条件下微观交通仿真。

5 转序段开口长度研究

5.1 相同限速策略、不同饱和度下评价指标分析

限速策略 80~60~40 km/h 时不同饱和度下

续表4

转序段类型	限速 80~60~40 km/h 时不同饱和度和度下转序段最优开口长度/m			限速 80~70 km/h 时不同饱和度和度下转序段最优开口长度/m			限速 80~60 km/h 时不同饱和度和度下转序段最优开口长度/m		
	0.3	0.6	0.9	0.3	0.6	0.9	0.3	0.6	0.9
小跨度单一双	100	100	100	100	100	100	100	100	100
单一单	100	100	100	100	100	100	100	100	100
双一双	100	100	100	100	200	100	100	100	100

条件下的最优开口长度为 100 m。较短的开口长度存在更低的线形几何指标,车辆转序过程中不同横向跨度下转序段线形角度见表 5。从表 5 可看出最大线形角度为 13°,在双车道变单车道时存在车辆合流情况,并不会引起频繁的交通冲突。

表 5 不同横向跨度下转序段线形角度

横向跨度/m	线形角度/(°)	横向跨度/m	线形角度/(°)
7.75	4	21.50	12
13.75	8	23.25	13

6 转序段开口间距研究

高速公路改扩建工程转序段开口间距对路段通行能力有较大影响,开口数量多,开口间距短,会造成车辆行程车速降低、车辆延误增加、路段服务水平下降。对于不中断交通的改扩建项目,转序段开口设置不可避免,只能通过调整施工计划来约束开口间距,减小对服务水平的影响。下面以特定长度的路段为研究对象,以可接受的服务水平作为阈值条件构建计算模型,推算不同服务水平下开口间距。

根据 4.1 节仿真数据,建立 6 km 路段模型(见图 8),以限速 80 km/h 施工路段为例,选取最优转序段开口长度 100 m,构建平均行程车速理论推导模型,参考文献[8]中服务水平评价标准(见表 6),分析最优转序段开口间距。

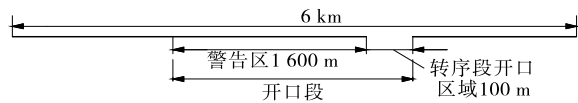


图 8 设置一个转序段开口的路段模型

如图 8 所示,开口段包括警告区与转序段开口区域,平均行程车速 v 计算模型如下:

$$v = \frac{L}{t} = \frac{L}{t_1 + nt_2} = \frac{L}{(6 - nl)/v_m + nt_2} \quad (6)$$

表 6 限速 80 km/h 施工路段服务水平评价标准^[8]

服务水平	饱和度	车速/ (km · h ⁻¹)	车辆延误/ [s · (veh · km) ⁻¹]
优	<0.35	>78	<3.0
良	[0.35,0.75)	[78,67)	[3.0,6.0)
一般	[0.75,0.9)	[67,62)	[6.0,13.2)
较差	[0.9,1]	[62,50]	[13.2,39.0]
差	>1	<50	>39.0

式中: L 为路段长度(km); t 为总行程时间(h); t_1 为非开口段行程时间(h); t_2 为开口段行程时间(h),不同开口类型的开口段行程时间见表 7; n 为开口段数量; l 为开口段长度(km); v_m 为施工路段限速(km/h)。

表 7 设置一个开口的开口段行程时间

开口类型	开口段行程 时间/h	开口类型	开口段行程 时间/h
大跨度双一单	0.027	小跨度单一双	0.029
小跨度双一单	0.027	单一单	0.029
大跨度单一双	0.03	双一双	0.027

按式(6)推算,设置 1 个转序段开口的路段,平均行程速度为 71.64~74.4 km/h,根据表 6,其服务水平为良;设置 2 个转序段开口的路段,平均行程速度为 64.86~69.52 km/h,服务水平为一般;设置 3 个转序段开口的路段,平均行程速度为 59.26~65.25 km/h,服务水平为较差。

综上,改扩建路段服务水平随转序段开口数量的增多而降低,开口间距与服务水平成正比(见图 9)。在可接受的服务水平一般阈值条件下,对于任意一段 6 km 改扩建路段,推荐设置 1 个转序段开口,开口间距为 3 km;最多设置 2 个转序段开口,开口间距为 2 km。

(下转第 47 页)

5 结语

山区高速公路线形指标较差,不良线形组合路段多,为减少因防眩设施设置不合理导致的交通事故,通过对平曲线、竖曲线路段防眩设施设置高度和间距的分析,得到道路在不同线形组合条件下防眩设施设置计算模型。结合贵新高速公路既有中央分隔带宽度和护栏的实际情况,设计采用整体式混凝土护栏顶部设置防眩板方案,增加路侧横向净距;根据道路设计参数,提出不同线形条件下防眩板设置指标值,防眩板的夜间防眩效果得到有效提升。

参考文献:

[1] 董君曼.不同线形条件下高等级公路防眩设施设置[D].哈尔滨:东北林业大学,2021.
 [2] 交通运输部公路科学研究院.公路交通安全设施设计规范:JTG D81—2017[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.
 [3] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司.公路路线设

计规范:JTG D20—2017[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.
 [4] 张犇,哈敏捷,白琛琛.基于多因素的公路弯道停车视距计算模型研究[J].公路与汽运,2023(1):10—16.
 [5] 刘帮权.关于公路停车视距横净距计算公式修正的探讨[J].公路与汽运,2020(4):50—52+55.
 [6] 路旭.高速公路防眩设施优化设计与综合评价研究[D].天津:河北工业大学,2018.
 [7] 杜志刚,徐弯弯.针对城市道路眩光的防眩设施改善设计[J].公路,2017,62(9):249—256.
 [8] 夏元波.基于公路空间三维线形的动态视距计算及其安全性研究[D].广州:华南理工大学,2021.
 [9] 邢福东,史琴.高速公路曲线路段内侧车道停车视距分析及改善措施研究[J].公路交通科技(应用技术版),2020(11):311—313.
 [10] 孙祺,段丹军,孔繁盛,等.基于 BIM 的高速公路有效视距影响因素分析[J].市政技术,2022,40(2):20—24.
 [11] 刘驰.对防眩板设施设计参数的研究和计算[J].中国市政工程,2016(5):92—94+106.

收稿日期:2023—03—17

(上接第 17 页)

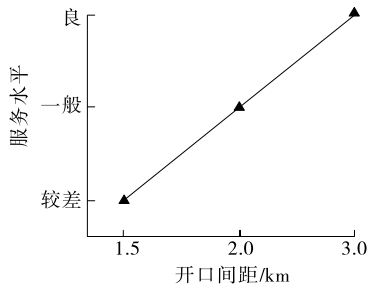


图 9 转序段开口间距与服务水平的关系

7 结论

(1) 对于不同类型的转序段开口,以行程车速、车辆延误、交通冲突率为评价指标,推荐开口长度为 100 m,此时行程车速较高、交通冲突率与车辆延误较小。

(2) 对于改扩建施工路段,中央分隔带开口间距与服务水平成正比,在可接受的服务水平下,最佳开口间距为 3 km,最好不小于 2 km,否则道路服务水平将严重下降。

参考文献:

[1] 赵一飞,万航,肖珊.高速公路改扩建借道施工作业区

中央分隔带开口长度研究[J].中外公路,2021,41(3):365—369.
 [2] 祁雪梅,王少飞,沈国辉.高速公路扩建施工区中央分隔带开口合理长度[J].公路交通科技(应用技术版),2019,15(8):283—285.
 [3] 孙智,荆迪菲,李志勇,等.高速公路改扩建借对向车道行驶中央分隔带开口长度[J].公路工程,2022,47(6):113—120+196.
 [4] 贾庸,蒋若曦,朱顺应,等.高速公路施工区中央分隔带开口长度研究[J].公路交通科技(应用技术版),2018,14(5):20—23.
 [5] 张良陈,邓丽娟,党高峰.基于满足基本功能情况下的中央分隔带最小宽度分析[J].交通科技,2018(3):110—112.
 [6] 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:人民交通出版社股份有限公司,2015.
 [7] 周晨静,荣建,陈春安.面向微观交通仿真实验的模型参数敏感性分析方法[J].北京工业大学学报,2016,42(11):1728—1733.
 [8] 李永义.高速公路施工路段交通组织方案设计与评价研究[D].南京:东南大学,2006.

收稿日期:2022—07—08