

国道公路隧道与互通立交小间距下方案比选与安全措施研究

程龙飞

(广州华晖交通技术有限公司, 广东 广州 510335)

摘要: 鉴于国道公路隧道与互通立交间距过小的复杂影响性以及缺少相关的成熟分析方法, 本研究在对项目背景、预测交通量等基础资料理解研究的基础上, 参考国内外现有安全性评价手册, 利用国内外成熟的道路安全研究成果, 并借鉴现有互通立交、隧道设计和运营阶段取得的经验、教训, 综合应用设计指标核查、换道过程分析、交通环境仿真等多种分析评价手段对项目路段进行分析, 最后探讨本项目隧道与互通间距设置方案的合理性, 并给出相关安全保障措施。

关键词: 隧道与互通间距; 方案比选; 变换车道; VISSIM; 指标核查

中图分类号: U491

文献标识码: A

Research on Scheme Comparison and Safety Measures for National Highway Tunnels and Interchanges with Small Spacing

CHENG Longfei

(Guangzhou HuaHui Traffic Technology Co., Ltd., Guangzhou 510335, Guangdong, China)

Abstract: In view of the complex impact of the small distance between national highway tunnels and interchanges, as well as the lack of relevant mature analysis methods, this study, based on the understanding and research of basic information such as project background and predicted traffic volume, draws on existing safety evaluation manuals at home and abroad, utilizes mature road safety research results at home and abroad, and draws on the experience and lessons learned from the design and operation stages of existing interchanges, tunnels, etc. By comprehensively applying various analysis and evaluation methods such as design indicator verification, lane change process analysis, and traffic environment simulation, the project section is analyzed. Finally, the rationality of the tunnel and interchange spacing setting plan for this project is discussed, and relevant safety measures are provided.

Key words: tunnel and interchange spacing; scheme comparison and selection; lane change; VISSIM; indicator verification

我国高速公路建设中隧道与互通式立交间距较小的情况不断出现^[1]。隧道出入口路段存在驾驶环境的变化, 根据公路实际运营情况, 互通式立交在隧道出口后分流时也存在较大的安全隐患。尤其在隧道较长情况下驾驶员驶出隧道时加速欲望较强烈, 行驶速度较高, 再叠加明适应的影响, 车辆驶出隧道后存在一定距离的盲区, 速度越快, 盲区距离越长, 因此互通式立交与隧道间距的控制以及相关安全保障措施的设计显得越

来越重要。

1 工程概况

广东省某国道为一级公路兼城市主干道, 一般路段采用双向六车道公路标准, 整体式路基宽 33.0 m, 分离式路基宽 16.5 m, 设计速度 80 km/h。国道存在一处隧道洞口距离互通较近, 该隧道为分离式隧道, 隧道左线长度为 1835 m (桩号为 Z2K16 + 039 ~ Z2K17 + 874), 隧道右线长度为

收稿日期: 2023-11-08

作者简介: 程龙飞, 工程师, 本科, 研究方向为交通工程

1 820 m (桩号为 YK16 + 034 ~ YK17 + 854)。直连式方案 (推荐方案, 见图 1) 设计中, 右线隧道出口距离互通减速渐变段起点为 217.9 m, 左线互通加速渐变段终点距离隧道入口为 101.6 m; 比选方案为环形匝道方案 (见图 2), 右线隧道出口距离互通减速渐变段起点 471 m, 左线互通加速渐变段终点距离隧道入口为 101 m。

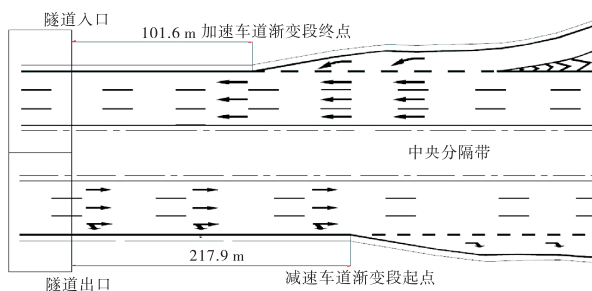


图 1 推荐方案平面示意

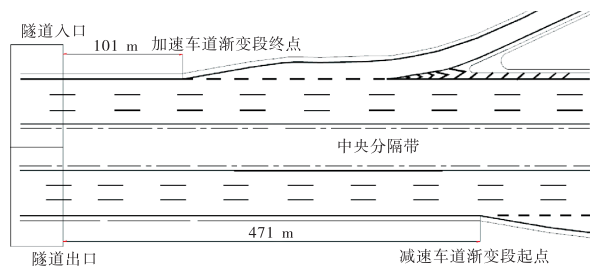


图 2 比选方案平面示意

2 隧道与互通立交间距指标评价

2.1 隧道与互通立交间距要求

我国《公路工程技术标准》(JTG B01—2014)^[2] (以下简称《标准》) 与《公路路线设计规范》(JTG D20—2017)^[3] (以下简称《路线规范》) 对隧道与互通立交间距进行了详细规定: 隧道出口至前方互通式立体交叉出口起点的距离不应小于 1 000 m, 小于时应在隧道入口前或隧道内设置预告标志。互通式立体交叉加速车道渐变段终点至前方隧道进口的距离 (以 m 计) 以不小于设计速度 (以 km/h 计) 的 1 倍长度为宜。此外,《公路项目安全性评价规范》(JTG B05—2015)^[4] (以下简称《安评规范》) 与《公路立体交叉设计细则》(JTG/T D21—2014)^[5] (以下简称《细则》) 也规定隧道与互通立交最小净距需要满足驾驶人能安全完成明适应、寻找间隙、变换车道和出口确认等过程。

2.2 设计指标核查

本项目直连式方案 (推荐方案) 右线隧道距互通立交净距为 217.9 m, 不满足 1 000 m 的要求

且不满足《细则》中规定的隧道出口与互通出口在设计速度 80 km/h 条件下最小净距 450 m 的要求。左线互通立交距隧道净距为 101.6 m, 满足《路线规范》1 倍设计速度长度要求, 满足《细则》中主线入口与前方隧道在设计速度 80 km/h 条件下最小净距 80 m 要求。

本项目环形匝道方案 (比选方案) 右线隧道距互通立交净距为 471 m, 不满足 1 km 的要求, 满足《细则》中规定的隧道出口与互通出口在设计速度 80 km/h 条件下最小净距 450 m 的要求。左线互通立交距隧道净距为 101 m, 满足《路线规范》中 1 倍设计速度长度要求, 满足《细则》中规定的主线入口与前方隧道在设计速度 80 km/h 条件下最小净距 80 m 的要求。

3 互通立交出口换车道距离分析

3.1 互通出口换道驾驶过程分析

车辆驶出主线进入互通出口的过程为强制性换道过程。车辆在主线上最内侧车道行驶时, 如图 3 所示, 变换车道至最外侧车道进而驶入匝道出口 (见图 4) 所需行驶距离分为明适应距离、标志判读距离、操作反应距离、调整换道距离、出口确认距离、出口确认距离、减速距离等^[6]。

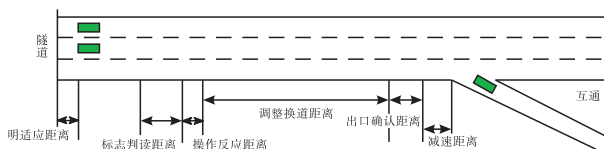


图 3 车辆变换车道过程中行驶距离分析图

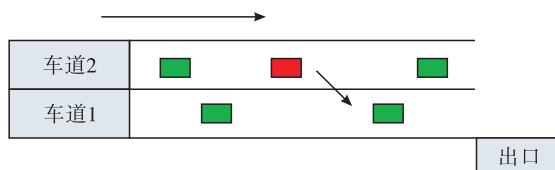


图 4 车辆换道过程示意

车辆换道时, 当驾驶员看到外侧车道有可接受的间隙, 会直接换道, 当外侧车道目标间隙不能满足换道需求时, 会等待可接受的目标间隙。如果目标车道交通量小并存在足够的接受间隙, 换道车辆可忽略调整过程和等待过程, 直接换到目标车道。但当目标车道交通量较大时, 大部分车辆需要调整车速并等待足够的可接受间隙, 再换到目标车道。

假设 A 车在当前车道上的车速不低于目标车道车速, 则车辆换道存在以下情形:

(1) t_{AC} 、 t_{AB} 足够大, 即目标车道相应 A 车位置前后车的间距均可满足变道需求时, A 车直接换道至目标车道, 无需经过等待与减速过程 (见图 5)。

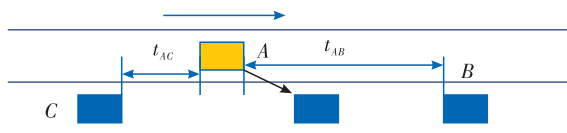


图 5 t_{AC} 、 t_{AB} 示意图

(2) t_{AB} 足够大, t_{AC} 小, 即 A 车与目标车道的前车间距满足变道需求, 但与后车的间距不能满足时, A 车可采取两种操作: 一是交通量较小时, A 车加速使 t_{AC} 足够, 然后变道。另一种情况是交通量大或者驾驶员操作比较保守时, A 车减速等待 (本文减速过程均假定匀减速), 在 C 车后方进行汇入, 此时需要计算等待时间。

(3) t_{AC} 足够大, t_{AB} 小, 即 A 车与目标车道的后车间距满足变道需求, 但与前车的间距不能满足时, A 车可采取两种操作: 一是交通量较小且 A 车不受当前车道前车以及 B 车前车的影响时, A 车加速超过 B 车, 保证与 B 车车头间距足够, 完成换道。另一种情况是, A 车减速等待, 调整其相对 B、C 车车距, 使 t_{AC} 和 t_{AB} 满足, 换道到车辆 B、C 车间。但是在强制性换道行为中, 特别是交通量比较大时, 驾驶员一般不采取第一种操作。

(4) t_{AC} 、 t_{AB} 均不足, 即 A 车与 B、C 车间距均不能满足。一般 A 车可采取两种操作: 一种情况是, A 车加速超过 B 车, 保证与 B 车车头间距足够, 完成换道。另一种情况是交通量大或者驾驶员操作比较保守时, A 车减速等待 (本文减速过程均假定匀减速), 在 C 车后方进行汇入, 此时需要计算等待时间。在强制性换道行为中, 尤其是交通量比较大时, 驾驶员一般不采取第一种操作。

综上所述, 基于驾驶员的驾驶行为心理, 以确保安全性为前提, 在强制性换道寻找可接受间隙过程中, 假设车辆以匀速或减速状态行驶, 以合适的换道车速进行换道, 暂不考虑车辆加速超车以变换车道的情况。

3.2 模型计算和参数值标定

(1) 隧道出口明适应时间。白天, 驾驶人驶出隧道, 在隧道出口将产生视觉障碍, 持续约

1 s。若视野内有强光照射, 人眼将出现不舒适感, 眩光会使人的视力下降, 下降程度主要受光源光照强度、视线与影响光的夹角、光源周围的亮度、眼的适应性等因素影响, 从暗环境到亮环境过程中这种影响约需 3 s 消除。吕晓东^[7]指出汽车由隧道暗处驶入明处时, 视力明适应时间需要 1~3 s。本研究中参照驾驶人的明适应时间 3 s 进行分析。

(2) 标志视认时间。赵一飞^[8]指出, 驾驶员对标志的视认反应时间 t 包括标志在驾驶人视野中的最小作用时间 t_1 和驾驶人视认反应时间 t_2 。一般情况下 t_1 若达不到 1 s, 驾驶人将无法清晰辨认标志, 计算通常取 1 s, t_2 一般取 2.5 s。《公路交通标志和标线设置规范》(JTG D82—2009)^[9]中规定驾驶员决策时间为 2~2.5 s, 在此从安全行车角度考虑决策时间取 2.5 s。

吕晓东^[7]同样对标志认读时间进行了详细分析, 指出由发现标志到开始读取所需时间为 2.0 s, 标志内容读取至读完所需时间为 3.0 s, 判断阶段所需时间为 2.5 s。

(3) 操作反应时间。设计中采用的制动反应时间应大到足以包括几乎所有驾驶员在大多数公路条件下所需要的反应时间, 该值取 2.5 s。

(4) 调整等待时间。一般认为驾驶员可接受的换道速度为主线车速的 0.76 倍。《公路交通标志和标线设置规范》(JTG D82—2009)^[9]中提出减速度约为 $0.75 \sim 1.5 \text{ m/s}^2$, 采用 85% 位车速值时为 1.0 m/s^2 。本研究假定减速为匀减速过程, 因此减速度取 -1.0 m/s^2 。各车道车速差较小时, 车辆采用微小的减加速变化以调整位置, 这一过程可视为匀速, 调整时间取 $3 \text{ s}^{[10]}$ 。可接受车头时距大都采用 3 s 或 4 s, 考虑到换道的目的性不同, 强制性换道取 3 s, 其他换道过程取 4 s。

(5) 车道变换时间。廖军洪等^[11]研究指出车辆横移速度取值为 1 m/s 。本项目为一级公路, 车道宽度取值为 3.75 m , 车辆从当前车道中心位置变换到目标车道中心位置距离为 3.75 m , 因此取车道变换时间为 3.75 s 。

(6) 出口确认距离与时间。史静^[10]研究认为出口确认距离是指车辆驶入外侧车道后, 在自由流状态下确认出口匝道的安全距离, 通常以 100 m 为宜。在类似研究中, 出口确认距离也常借鉴安全停车距离的规定, 反应时间采用 2.5 s。

综上, 具体选取的计算参数如表 1 所示。

表 1 参数选取值

速度/ (km/h)	交通量/ [pcu/(h·ln)]	明适应 时间/s	标志视认 距离/m	操作反应 时间/s	减速度/ (m/s ²)	可接受车 头时距/s	车道变换 时间/s	出口确认 时间/s
80	1 250	3	100	2.5	-1.0	3	3.75	2.5
110	1 550	3	120	2.5	-1.0	3	3.75	2.5

3.3 分析结果

本项目单方向设置有 3 条车道，计算假设最内侧车道及中间车道车速差较小，调整时间按 3 s 计算，中间车道及最外侧车道存在速度差，调整过程中换道车速为主线行驶车速的 0.76。计算

车辆在内侧、中间、外侧三条车道行驶时，驶出主线前在主线行驶的需求距离，按设计速度 80 km/h、期望速度 110 km/h 以及对应速度下的最大服务交通量，分别计算驾驶需求距离，如表 2 所示。

表 2 内侧、中间、外侧车道驶出距离计算结果

车道	速度/(km/h)	明适应距 离/m	标志视认 距离/m	操作反应 距离/m	调整等待 距离/m	车道转移 距离/m	出口确认 距离/m	合计/m
内侧	80	67	100	36.4	131.9	126.7	42.2	504.2
	110	97	120	50.1	240.8	174.2	58.1	740.2
中间	80	67	100	36.4	108.4	63.3	42.2	417.3
	110	97	120	50.1	204.0	87.1	58.1	616.3
外侧	80	67	100	—	—	—	42.2	209.2
	110	97	120	—	—	—	58.1	275.1

本项目推荐直连式方案右幅隧道出口距离互通减速渐变段起点仅 217.9 m，环形匝道方案右幅隧道出口距离互通减速渐变段起点 471 m。两种方案均不满足最不利的情况下车辆在内侧车道行驶时在设计速度和运行速度下需要的驶出距离。环形匝道方案可满足在设计速度下车辆在中间车道和外侧车道行驶时的驶出距离；直连式匝道方案可满足在设计速度下车辆在外侧车道行驶时的驶出距离。



图 7 环形匝道方案

4 隧道出口至互通出口段交通仿真分析

针对隧道与互通立交间距如何设置能够满足车辆由隧道出口换道至互通出口匝道驶出主线的运行需求，本研究采用 VISSIM 仿真软件进行仿真分析验证。

4.1 仿真参数设置

(1) 路网资料。以本路段隧道至互通为路网（见图 6、图 7），模拟车辆运行过程，并检测各指标。



图 6 直连式匝道方案

(2) 车辆组成。根据一级公路交通调研，一级公路上主要车型为小客车、大货车、中小货车以及大客车，数据采集处理中根据车辆长度主要将车辆划分为小车、大车以及特大车，本次仿真主要车型组成为小车、大客车和大货车。车型组成根据本项目工可的预测交通组成进行输入，小车、大客车、大货车车型的比例为 0.77 : 0.03 : 0.20。车流输入分别按照项目预测交通量和最大服务交通量标定值 1 250 pcu/(h·ln) 进行输入。项目预测远景互通各个方向的交通量如图 8 所示。经计算，2041 年互通立交主线上行出口匝道的交通量为 3 227 pcu/d，折算成高峰小时交通率为 323 pcu/h。

(3) 速度分布。本次仿真参照《公路项目安全性评价规范》中附录 B 的规定，基于期望速度与设计速度进行选取各车型、各路段的速度分布，隧道内外 3 s 行程范围内统一采用隧道路段的设定速度，匝道路段大小型车均采用 40 km/h 运行速度。设定如表 3 所示。

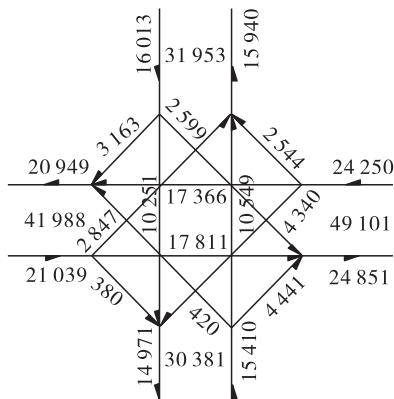


图 8 互通远景 2041 年预测交通量 (pcu/日)

表 3 速度参数表

车型	路段	最大速度/(km/h)	最低速度/(km/h)
小型车	一般路段	110	60
	隧道路段	100	60
大型车	一般路段	80	60
	隧道路段	80	60

(4) 其他说明, ①仿真时间: 两种方案中隧道与互通立交间距不同, 车流到达不同间距下互通出口所需要的时间存在差异, 为降低不同间距下车流到达时间差对仿真结果的影响, 选取 0 ~ 3 600 s 的统计值进行交通特征分析, 车辆随机种子每次 +1, 共运行 5 次, 取 5 次仿真结果的平均值。②强制换道: 当目标车辆没有机会换道驶离主线时, 默认连接器前 5 m 进行强制换道。路网中渐变段用连接器设置, 车辆在到达渐变段前没有机会换道而进行强制换道的位置为连接器前 5 m。

4.2 数据采集器布置

车速和延误是反应交通运行状态的重要指标。在右线隧道出口断面、换道断面、互通出口断面、匝道沿线设置数据检测器, 检测各项数据指标, 并设置段落检测器用于检测隧道出口至互通出口段中可换道的路段, 输出匝道驶离点至匝道分流点的行程时间和延误数据。针对不同匝道方案, 数据采集器位置设定如图 9 ~ 图 11 所示。

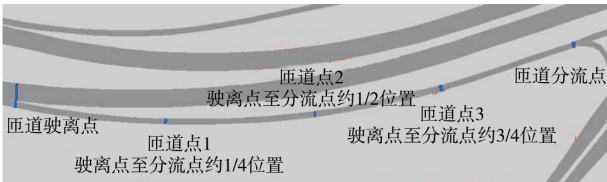


图 9 直连式匝道方案数据采集器位置设定

4.3 基于互通远景预测交通流量仿真分析

基于互通远景预测交通流量仿真结果如表 4

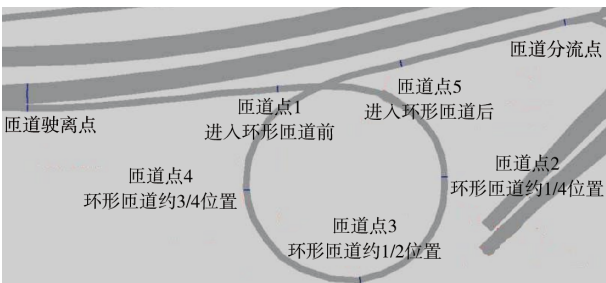


图 10 环形匝道方案数据采集器位置设定

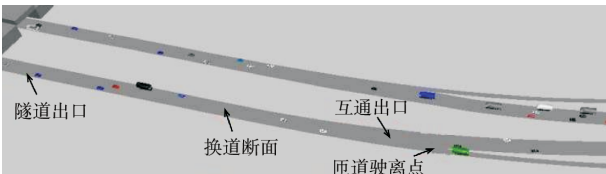


图 11 主线数据采集器位置

所示。表 4 中换道断面最低速度显著低于隧道出口和互通出口断面, 说明因隧道出口距离互通出口较近, 内侧车道部分车辆大幅降低车速来等待换道机会来完成换道, 在一定程度上对车流造成了干扰。匝道车辆速度数据表明直连式匝道方案匝道车辆速度离散性较小, 车辆运行平稳性明显优于环形匝道方案。直连式匝道方案匝道不同采集点的车辆速度变化不大, 而环形匝道方案中, 匝道车辆速度存在逐渐减小趋势, 且最大速度与最小速度差值明显大于直连式匝道方案。表 5 中对比表明, 环形匝道方案匝道通行时间长于直连式匝道方案, 产生的延误大于直连式匝道, 其原因为环形匝道长度更长, 同时平面圆曲线半径较小, 大型车辆速度受较大影响, 进而使得大小型车辆存在明显的速度差, 交通流整体通行效率降低, 延误时间增大。

4.4 基于一级公路三级服务水平下的饱和交通量仿真分析

基于一级公路三级服务水平下的饱和交通量仿真结果如表 6、表 7 所示。表 6 中换道断面最低速度显著低于隧道出口和互通出口断面, 且接近于 0, 而最高速度则能达到 100 km/h 以上。随着车流量进一步增大, 由于隧道出口距离互通出口较近, 部分内侧车道为了完成换道过程, 不得不大幅降低车速甚至停车来等待换道机会, 对车流造成了严重干扰, 前后车辆间存在较大速度差, 易增加交通事故风险。而匝道车辆速度数据表明, 直连式匝道方案匝道车辆速度离散性较远景预测交通量情况下的数据大, 但整体处于平稳状态, 运行速度平稳性明显优于环形匝道方案。直连式匝道方案匝道车辆速度变化不大, 而环形

表 4 隧道出口至互通出口段检测数据

方案	位置	交通量 (辆/h)	最低速度/(km/h)			最高速度/(km/h)			平均速度/(km/h)		
			内侧车道	中间车道	外侧车道	内侧车道	中间车道	外侧车道	内侧车道	中间车道	外侧车道
直连式 匝道方案	隧道出口	1 054	58.6	60.0	60.2	99.7	99.9	99.8	77.5	77.2	77.2
	换道断面	1 054	46.2	45.8	56.5	107.8	107.2	106.9	78.8	80.3	79.5
	互通出口	936	60.2	60.0	60.2	109.0	109.8	109.6	79.7	83.3	79.8
	匝道驶离	118		40.2			66.0			43.1	
	匝道点 1	118		40.1			45.0			42.0	
	匝道点 2	118		40.1			45.0			42.0	
	匝道点 3	118		40.1			45.0			42.0	
	匝道分流点	118		37.3			45.0			41.4	
环形匝 道方案	隧道出口	1 054	59.9	58.7	60.1	79.9	80.0	80.0	70.0	70.0	69.4
	换道断面	1 054	42.8	46.8	42.1	109.8	109.9	109.8	78.2	79.6	78.1
	互通出口	922	57.8	53.8	56.7	109.8	109.5	109.8	80.0	81.1	79.1
	匝道驶离	132		38.9			94.3			55.9	
	匝道点 1	132		37.4			75.5			44.4	
	匝道点 2	132		38.2			55.2			42.6	
	匝道点 3	132		38.3			47.2			42.2	
	匝道点 4	132		37.9			46.5			42.2	
	匝道点 5	132		37.9			45.6			41.4	
	匝道分流点	132		26.4			46.7			41.5	

表 5 匝道段通行时间及延误检测数据

方案	起点	终点	距离/m	通行时间/s	延误/s
直连式匝道方案	匝道驶离	匝道分流点	529.8	45.2	0.1
环形匝道方案	匝道驶离	匝道分流点	652.4	54.4	0.7

表 6 隧道出口至互通出口段检测数据

方案	位置	交通量 (辆/h)	最低速度/(km/h)			最高速度/(km/h)			平均速度/(km/h)		
			内侧车道	中间车道	外侧车道	内侧车道	中间车道	外侧车道	内侧车道	中间车道	外侧车道
直连式 匝道方案	隧道出口	2 557	52.1	56.5	55.7	99.1	99.5	99.3	74.2	85.2	73.5
	换道断面	2 557	0.8	11.4	14.3	105.7	105.5	106.8	71.8	70.7	70.4
	互通出口	2 265	50.4	49.7	51.4	109.1	109.0	108.5	75.0	76.8	74.8
	匝道驶离	292		38.9			79.7			43.1	
	匝道点 1	292		39.3			55.4			42.2	
	匝道点 2	292		38.7			45.0			42.0	
	匝道点 3	292		38.9			45.0			42.0	
	匝道分流点	292		26.6			44.9			40.6	
环形匝道方案	隧道出口	2 557	55.8	59.2	56.0	80.0	80.0	79.9	68.5	68.8	68.4
	换道断面	2 557	4.0	2.9	2.6	109.8	108.7	106.4	62.3	62.3	63.0
	互通出口	2 215	42.8	41.9	42.4	109.8	108.7	107.1	72.1	72.4	72.4
	匝道驶离	342		37.2			97.1			49.2	
	匝道点 1	342		35.5			80.4			42.7	
	匝道点 2	342		37.8			61.4			42.3	
	匝道点 3	342		37.4			51.2			41.8	
	匝道点 4	342		38.0			47.3			42.1	
	匝道点 5	342		29.6			46.0			40.6	
	匝道分流点	342		10.2			47.2			37.0	

表7 匝道段行程时间及延误检测数据（直连式匝道方案）

方案	起点	终点	距离/m	通行时间/s	延误/s
直连式匝道方案	匝道驶离	匝道分流点	529.8	45.2	0.3
环形匝道方案	匝道驶离	匝道分流点	652.4	56.3	1.9

匝道方案中，匝道段落速度存在逐渐减小趋势，随着车流量加大，速度减小趋势越发明显。表7对比表明，环形匝道距离更长，通行时间长于直连式匝道，且产生的延误大于直连式匝道。对比表5和表7，随着车流增大，环形匝道段落对整体交通流通行效率的影响越发显著。

5 结论与建议措施

在两种方案均不满足运行速度下驾驶员在最内侧车道换道距离需求的情况下，考虑到环形匝道的仿真运行显示在设计饱和交通量情况下，环形匝道的延误大于直连式匝道等因素，推荐采用直连式方案，但应在该方案的基础上进一步优化，并设置相关的交通安全保障措施。针对直连式方案，本文提出以下安全设施设计建议：

（1）隧道入口前加强互通出口预告提示，隧道入口前与隧道出口后中间分隔带处增设出口预告标志，以避免内侧车道小车视线受外侧大车遮挡，同时设置出口信息路面文字标记，引导驶离主线车辆提前换至最外侧车道。隧道内如设置紧急停车带，可利用侧壁重复设置出口预告标志，加强对驾驶员的提醒，使驾驶员提前做好换道准备。

（2）在满足隧道出口内外3 s行程距离不允许变道的前提下，设置足够长度的虚实线车道分界线，使内侧车辆得以换道至外侧。

（3）车辆所需的换道距离随行车速度提高而增加。将隧道入口至互通出口路段作为速度控制单元，制定合理的限速方案，在隧道出口前200 m设置限速标志、测速设施，警示驾驶员以规定速度行驶。

（4）在隧道出口前后一定范围内路面采用彩色防滑沥青，同时增强路面抗滑性能，提高行车稳定性。

（5）加强隧道内及出口段的照明，降低明适应影响。有条件时，可对隧道出口至互通出口路段追加设置路灯，提高夜间可视性。

（6）驾驶员的路径选择行为受互通出口视认性的影响，增强互通出口视认性可考虑设置分流三角端彩色渠化标线、加密分流渠化段和匝道的凸起路标、设置分流三角端警示灯等交通工程

措施。

（7）加强被动防护。车辆碰撞至分流三角端头易导致车内人员伤亡，应设置满足防护等级的可导向性防撞垫，发生碰撞事故可降低事故严重程度。

（8）隧道路段、互通出口段设置监控摄像机、视频图像检测系统、声光报警等装置，及时制止违章行为的发生；隧道入口前设置可变情报板，与隧道内、互通出口段监控设施形成联动，一旦隧道内及小间距路段发生事故，提醒驾驶员前方事故，同时及时采取封闭车道或禁止驶入等管控措施。

（9）运营管理部门加强交通安全宣传教育力度，严禁车辆在隧道出口至互通出口段违规停车，加强货车超载超限的管理等。

参考文献：

[1] 孙明玲,赵源,葛书芳. 双车道高速公路隧道与互通式立交出口最小间距分析[J]. 公路, 2014, 59(7): 274-278.

[2] 中华人民共和国交通运输部. 公路工程技术标准 JTG B01—2014[S]. 北京:人民交通出版社,2014.

[3] 中华人民共和国交通运输部. 公路路线设计规范 JTG D20—2017[S]. 北京:人民交通出版社,2017.

[4] 中华人民共和国交通运输部. 公路项目安全性评价规范 JTG B05—2015[S]. 北京:人民交通出版社,2015.

[5] 中华人民共和国交通运输部. 公路立体交叉设计细则 JTG/T D21—2014[S]. 北京:人民交通出版社,2014.

[6] 姚胜彪. 柳州至南宁扩容高速公路事故多发路段安全性分析及对策研究[D]. 西安:长安大学,2016.

[7] 吕晓东. 高速公路互通式立交与其他设施净距研究[D]. 西安:长安大学,2012.

[8] 赵一飞,陈敏,潘兵宏. 隧道与互通式立交出口最小间距需求分析[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2011, 31(3): 68-71, 89.

[9] 中华人民共和国交通运输部. 公路交通标志和标线设置规范 JTG D82—2009[S]. 北京:人民交通出版社,2009.

[10] 史静. 互通式立交最小安全净距及变速车道长度研究[D]. 西安:长安大学,2011.

[11] 廖军洪,王芳,邬洪波,等. 高速公路互通立交与隧道最小间距研究[J]. 公路, 2012(1): 1-7.