

DOI: 10.20035/j.issn.1671-2668.2024.04.006

引用格式:施泽,罗忠祥,肖天祥,等.高速公路新增互通涉路评价关键指标与方法研究[J].公路与汽运,2024,40(4):23-28.

Citation:SHI Ze, LUO Zhongxiang, XIAO Tianxiang, et al. The key indexes and methods of evaluating the new expressway interchange related roads[J]. Highways & Automotive Applications, 2024, 40(4): 23-28.

高速公路新增互通涉路评价关键指标与方法研究^{*}

施泽^{1,2}, 罗忠祥^{1,2}, 肖天祥^{1,2}, 李薇^{3,4}

(1.云南腾陇高速公路有限责任公司, 云南 德宏 678600; 2.云南德孟高速公路投资开发有限公司, 云南 临沧 677400;
3.云南省交通规划设计研究院有限公司, 云南 昆明 650229; 4.云南省数字交通重点实验室(筹), 云南 昆明 650103)

摘要:随着公路网密度的增加,高速公路新增互通立交的需求增加,新增互通会对既有高速公路通行与运营带来一定影响。文中通过对高速公路新增互通立交对既有高速公路安全影响的分析,从接入点设计合规性、施工组织对既有高速公路的影响及互通立交运营对高速公路的影响三方面建立新增互通立交涉路评价指标体系,实际应用中可结合项目特征和复杂程度对评价指标进行增减;通过规范符合性对照检查、施工组织可行性及合规性评价、新增互通立交前后通行能力对比,提出新增互通立交涉路技术评价方法,并运用该评价方法对云南省某新建高速公路 B 通过新增互通搭接已运营高速公路 A 工程进行涉路技术评价。

关键词:公路交通;涉路工程技术评价;互通立交;规范符合性;施工组织可行性;通行能力

中图分类号:U418.8

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2024)04-0023-06

随着中国经济社会的发展及新城区建设和公路网的不断完善,新建道路需要通过新增互通立交实现与既有高速公路的衔接,而新增互通立交在施工和运营中都会对既有高速公路通行能力和通行安全带来一定影响。目前对公路涉路项目的评价多针对铁路、管道、服务设施等上跨、下穿、平行公路的情况^[1-4],没有进行新增互通立交对既有公路影响的评价指标构建和评价方法研究。

高速公路应全部控制出入口,互通立交选址时需考虑间距^[5]、线形和其他设施等条件的影响。相关研究通过辅道^[6]、出入口设计^[7]、复合式立交^[8-9]等优化复杂互通立交密集区的设计,并采用交通仿真、服务水平计算等手段评价交通冲突和服务水平优化情况^[10]。在施工过程对既有高速公路影响方面,现有研究主要关注施工技术^[11]和施工期交通组织^[12]的影响、立交修建完成后产生的诱增交通量给高速公路增加的交通压力^[13]。本文从设计合规性、施工组织影响及运营影响三方面提出新增互通立交涉路评价的主要依据、指标及方法,并以云南省某新

建高速公路 B 通过新增互通搭接已运营高速公路 A 为例进行分析评价。

1 互通立交接入点设计合规性评价指标及方法

从间距、运营公路主线线形条件、连接部合规性、视距、净高等方面对新增互通立交接入点设计合规性进行评价。

(1) 间距。车辆行驶至互通立交区时,驾驶员需对标志信息进行辨识并采取相应驾驶操作,驾驶任务较复杂。新增互通立交后,需进一步对相邻互通之间的间距及互通立交与其他设施之间的间距或净距进行评价。在进行新增互通立交涉路评价时,应依据 JTG D20—2017《公路路线设计规范》及 JTG/T D21—2014《公路立交设计细则》的相关规定,对互通立交区与运营高速公路上其他相邻互通立交、服务区、停车区、U 形转弯设施、隧道出入口净距等进行合规性评价。

(2) 原高速公路接入点线形。应考虑新增互通

^{*} 基金项目:交通运输行业重点科技项目(2021-TG-005);云南省交通运输厅科技创新与示范项目(云教科教便[2020]75号;云交科教便[2022]122号);云南省科技厅科技计划项目(202201AT070245;202205AC160159);云南省数字交通重点实验室项目(202205AG070008)

立交接入点的主线线形条件,保证立交流出及流入交通平稳过渡,控制弯道外侧变速车道横坡差,提高行车安全性。因此,需对主线圆曲线最小半径进行评价。为保障流出的车辆及流入主线的车辆平稳减速、加速行驶,对减速车道下坡路段及加速车道上坡路段最大纵坡进行评价。为保证互通立交区的视距要求,对互通立交交叉范围内竖曲线最小半径进行评价。

(3) 连接部设计合规性。新增互通立交与主线的连接部是实现交通分合流及交织运行的关键部位,需根据主线和匝道设计速度,评价匝道与主线连接部变速车道渐变段长度、出入口渐变率、加减速车道长度和宽度、辅助车道长度、车道平衡、连续分合流间距等的合规性。

(4) 视距。视距是保证公路交通安全的一项重要指标。公路沿线应有足够的视距,使驾驶员能及时察觉潜在危险并做出适当反应。为保证在设计速度下驾驶员有足够的距离识别分合流鼻端的来车,减少交通冲突概率,重点对与既有公路搭接部分的分流鼻端识别视距、合流鼻端前通视三角区进行评价。依据文献[14],对于互通立交分流鼻端,应检查主线最外侧车道距离分流鼻端 10~13 s 运行速度行程长度位置和分流鼻端后 40 m 位置所围成的视距三角区的通视性;对于合流鼻端,应检查主线、匝道距离合流鼻端 5 s 运行速度行程长度位置围成的视距三角区的通视性。

(5) 净高。新增互通立交后,通常匝道通过上跨或下穿主线的方式实现交通转换,需对上跨或下穿主线过程中最小净高进行评价。

(6) 交通工程设置合理性。重点对互通出口指路标志和预告标志、限速标志和匝道限速标志等标志标线信息组合设置合理性及与既有高速公路已有标志标线的一致性、协调性等进行评价。考虑到互通立交存在匝道上跨或下穿的情况,还应对护栏、防落网等交通安全设施的设置合理性进行评价。

设计合规性评价方法是通过定量的规范符合性检查,逐一对照规范条文对新增互通立交接入点设计合规性进行检查,合规性评价指标见表 1。

2 互通立交施工影响评价指标及方法

2.1 评价指标

采用定性与定量相结合的方法,对互通立交施

表 1 新增互通立交设计合规性评价指标

评价单元	评价指标
间距	相邻互通立交间距;互通立交与相邻互通立交的净距;互通立交与服务设施的净距;互通立交与隧道的净距
原高速公路接入点线形	最小半径;减速车道下坡路段纵坡;加速车道上坡路段纵坡;竖曲线最小半径
连接部设计	变速车道各段最小长度;车道平衡;连续分合流最小间距
视距	分流鼻端识别视距;合流鼻端前视距三角区
净距	匝道上跨主线最小净高;匝道下穿主线净高、净距
交通工程设施	标志标线;交通安全设施

工对高速公路交通运行、既有高速公路结构物及排水的影响进行评价。

2.2 评价方法

(1) 对既有高速公路结构物的影响评价。新增互通接入时若需要对既有高速公路边坡、桥梁等进行施工,应对既有结构物在施工期及施工后的稳定性进行评价。对路基、边坡开挖过程中的稳定性及暴雨、地震等非正常工况下可能发生的失稳情况进行分析,并从施工方法、施工工艺、施工进度等方面对可能造成的影响范围进行评估,对可能发生的突发事件进行应急方案可行性评价。

(2) 既有公路结构物监测。在新增互通施工期间,存在施工风险时,应对既有边坡、桥梁等重要结构物在施工过程中的状况进行监测。

(3) 施工期间排水影响评价。若施工中需要拆除或破坏既有高速公路排水,应对其影响及应对措施合理性进行评价,同时梳理施工区排水系统,对排水方案的合理性进行定性评价。

(4) 施工期交通运行影响评价。对施工中可能占用既有高速公路的情况进行梳理,按照 JTG H30—2015《公路养护安全作业规程》的相关规定,评价施工组织方案及道路保通方案中施工区标志、标线设置及逐级限速的合理性。此外,根据道路保通方案,对施工区交通组织方案是否满足通行需求及在现有通行车道数、速度下高速公路的通行能力、服务水平进行计算,分析新增互通施工对高速公路服务水平的影响,并提出应对措施。通行能力及服务水平根

据 JTG D20—2017《公路路线设计规范》中的方法计算。施工组织对交通运行的影响评价技术路线见图 1。

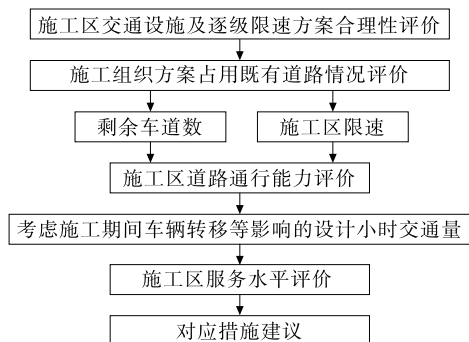


图 1 施工组织对交通运行的影响评价

3 互通立交运营后影响评价指标及方法

3.1 评价指标

新增互通立交后,由于新的道路接入,诱增了既有高速公路的交通量,需评价诱增交通量对既有高速公路主线通行能力的影响。同时新增互通后分合流交织点增加,需对互通立交区分合流端的服务水平进行评价。

3.2 评价方法

3.2.1 诱增交通对既有高速公路服务水平的影响

高速公路必须通过互通立交进行交通转换,新增互通立交通常会对既有高速公路的交通量造成影响。应结合新增互通立交连接的区域和交通出行情况,对新增互通立交对既有高速公路带来的诱增交通进行分析。诱增交通量主要考虑新增互通匝道的交通量中诱增交通的占比,计算公式如下:

$$Q_{y,D} = Q_0(1+\rho)^N + Q_{\text{匝道}}\delta \quad (1)$$

$$Q_{y,h} = Q_{y,D}DK \quad (2)$$

式中: $Q_{y,D}$ 为预测年 y 方向 D 的年平均日交通量(pcu/d); Q_0 为既有高速公路预测基年的年平均日交通量(pcu/d); ρ 为交通量年平均增长率(%); N 为预测年限; $Q_{\text{匝道}}$ 为预测年进出匝道的交通量(pcu/d); δ 为新增互通立交带来的转移交通量及诱增交通量的比例; $Q_{y,h}$ 为预测年 y 高峰小时交通量(pcu/d); D 为方向不均匀系数; K 为设计小时交通量系数。

计算所得预测年高峰小时交通量 $Q_{y,h}$ 除以车道数,得到新增立交后单条车道服务的最大交通量,据此查阅 JTG D20—2017《公路路线设计规范》,得到该交通量对应的服务水平。若新增立交后服务水

平仍保持在三级及以下,则认为对既有高速公路交通影响不大;若服务水平超过三级,则通过增加车道或其他交通管理手段,保障高速公路的通畅运行。

3.2.2 互通立交分合流区服务水平评价

新增互通立交后,分合流区通行能力根据《道路通行能力手册》确定,除需要分析新增立交与主线分合流区域的通行能力及服务水平外,对距离较近的既有高速公路相邻立交、服务区分合流区也要进行服务水平分析^[15]。

(1) 合流区的服务水平。匝道合流影响区的总流率 $Q_{\text{合}}$ 由合流区上游车道 1、车道 2 的流率 $Q_{12\text{合}}$ 、合流匝道的流率 $Q_{R\text{合}}$ 组成[见式(3)], $Q_{12\text{合}}$ 按式(4)计算。合流区的服务水平由合流影响区内车流密度确定,按式(5)计算。式(5)仅适用于非饱和条件下对车流密度 K_R 的预测^[15],饱和情况(需求超过通行能力)下服务水平评定为六级。根据车流密度评价合流区的服务水平,分为六级,评价标准见表 2。

$$Q_{\text{合}} = Q_{12\text{合}} + Q_{R\text{合}} \quad (3)$$

$$Q_{12\text{合}} = Q_H \times P_{\text{FM}} \quad (4)$$

式中: Q_H 为合流区上游高速公路交通需求流率(pcu/h); P_{FM} 为合流区上游车道 1、车道 2 的流率占上游总流率的比例,对于四车道高速公路,所有上游(车道 1、车道 2)的车流都在分析区域内, $P_{\text{FM}}=1$ 。

$$K_E = 3.402 + 0.004\ 56Q_E + 0.004\ 8Q_{12\text{合}} - 0.012\ 78L_E \quad (5)$$

式中: L_E 为加速车道长度。

表 2 合流区和分流区的服务水平评价标准

服务 水平	车流密度 K_R / [pcu · (km · ln) ⁻¹]	服务 水平	车流密度 K_R / [pcu · (km · ln) ⁻¹]
一级	≤6	四级	>17~22
二级	>6~12	五级	>22
三级	>12~17	六级	需求超过通行能力

(2) 分流区的服务水平。匝道分流影响区的总流率 $Q_{\text{分}}$ 由分流区上游车道 1、车道 2 的流率 $Q_{12\text{分}}$ 、分流匝道的流率 $Q_{R\text{分}}$ 组成[见式(6)],车道 1、车道 2 的流率按式(7)计算。分流区的服务水平由分流影响区内的车流密度确定,车流密度按式(8)计算。式(8)仅适用于非饱和条件下对车流密度 K_R 的预测^[15],饱和情况下服务水平评定为六级。根据车流密度评价分流区的服务水平,分为六级,评价标准见

表 2。

$$Q_{\text{分}} = Q_{12\text{分}} + Q_{\text{R分}} \quad (6)$$

$$Q_{12\text{分}} = Q_{\text{R分}} + (Q_{\text{F}} - Q_{\text{R分}}) P_{\text{FD}} \quad (7)$$

式中: Q_{F} 为分流区上游高速公路交通需求流率(pcu/h); P_{FD} 为分流区上游车道 1、车道 2 的流率占上游总流率的比例。

$$K_{\text{R}} = 2.642 + 0.005 \, 3Q_{12\text{分}} - 0.018 \, 3L_{\text{D}} \quad (8)$$

式中: L_{D} 为减速车道长度。

4 案例分析

以云南省某新建高速公路 B 通过互通立交搭接已运营高速公路 A 为例,采用上述评价指标和方法对新增互通立交的影响进行评价。已运营高速公路 A 设置有 2 处互通立交,分别为互通立交 1 和互通立交 2。新建高速公路将与高速公路 A 搭接,新增一座互通立交(互通立交 3)。其相对位置见图 2。

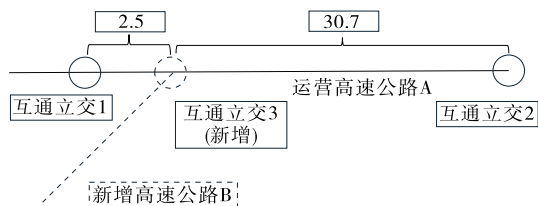


图 2 新建高速公路 B 搭接运营高速公路 A 相对位置示意图(单位:km)

4.1 设计合规性评价

4.1.1 间距评价

如图 2 所示,互通立交 3 与互通立交 2 的间距为 30.7 km,大于规范规定的最小间距 4 km;互通立交 3 与互通立交 1 的间距为 2.5 km,小于规范规定。对相邻互通加减速车道间净距进行检查,最小净距为 1 785 m,大于规范要求的 1 000 m,满足规范要求(见表 3)。

表 3 互通立交 3 与互通立交 1 加减速车道间净距

互通名称	位置	桩号	净距/m
互通立交 1 上行加速车道渐变段止点		K25+557	1 842
互通立交 3 上行减速车道渐变段起点		K27+399	
互通立交 1 下行减速车道渐变段起点		K25+534	1 785
互通立交 3 下行加速车道渐变段止点		K27+319	

4.1.2 既有高速公路接入点线形

运营高速公路 A 的设计速度为 100 km/h,互通立交 3 接入高速公路 A 主线的平纵技术指标见表 4。由表 4 可知:互通范围内高速公路 A 主线最大纵坡为 -3.95%,位于加速车道下坡和减速车道上坡路段,不存在减速车道下坡、加速车道上坡的情况,主线与安全线半径、纵坡、竖曲线半径均符合规范要求。

表 4 高速公路 A 主线设计指标

桩号范围	互通形式	主线圆曲线最小半径/m	主线竖曲线最小半径/m		主线最大纵坡/%
			凸形	凹形	
K27+300—K29+500	T 形枢纽互通	1 000	16 000	15 000	-3.95

4.1.3 匝道连接段合规性

(1) 变速车道。互通立交 3 在已运营高速公路

A 上的加、减速车道长度见表 5,变速段长度、渐变段长度及辅助车道长度均满足规范要求。

表 5 互通立交 3 匝道变速车道评价

方向	减速车道长度/m	出口/m		加速车道长度/m	入口/m		评价结果
		辅助车道长度	渐变段长度		辅助车道长度	渐变段长度	
上行	247.542	250	80	200	—	130	满足要求
下行	127.229	—	90	350	350	160	满足要求

(2) 出口匝道线形。检查互通立交 3 出口匝道曲率半径及曲线参数合规性,出口匝道运行速度过渡段设计和过渡段上任意一点平曲线最小曲率半径及匝道控制曲线参数见表 6,分流鼻端设置位置、匝道平曲线半径均满足规范要求。

4.1.4 行车视距

对新增互通立交 3 后已运营高速公路 A 处的分流鼻端视距进行检查,新增互通立交与已运营高速公路连接处分流鼻端、合流鼻端通视性检查结果如下:

表 6 出口匝道分流鼻端位置及匝道平曲线半径

出口匝道	$v_1/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	$v_2/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	分流鼻端桩号	控制曲线起点桩号	R/m	L_1/m	评价结果
C	65	80	CK0+243.877	CK0+000	240	243.877	满足要求
D	65	60	DK0+125.670	DK0+000	300	125.670	满足要求

注: v_1 为分流鼻端通过速度; v_2 、 R 分别为控制曲线设计速度、设计半径; L_1 为分流鼻端至匝道控制曲线起点的距离。

(1) 分流鼻端。主线设计速度为 100 km/h,按照分流鼻端前 10 s 运行速度取的视距为 277.78 m,约为 278 m。根据检查结果,分流鼻端视距三角区包络部分匝道外侧护栏,采用波形梁护栏,地面高度 75 cm,防护高度 60 cm,不影响驾驶员视线。

(2) 合流鼻端。按 5 s 运行速度对应距离得到视距,主线合流鼻端前视距为 138.9 m;A、F 匝道合流鼻端前视距为 110.0 m;B、E 匝道合流鼻端前视距为 83.0 m。A、F 合流鼻端视距三角区内为挖方边坡,对通视三角区有一定影响,建议削平视距三角区内土方,确保驾驶员视线良好。

4.1.5 净空要求

C 匝道和 B 匝道上跨高速公路 A,最小净空为 10.747 m,满足净高要求。

4.1.6 交通工程设施

该项目按要求设置指路及预告标志,且在上跨匝道设置防落网,指路标志、防落网等交通安全设施的设置符合规范要求。

4.2 施工影响评价

4.2.1 边坡施工对已运营高速公路的影响分析

本案例中,新增互通立交后需对已运营高速公路的边坡进行施工。互通立交所在区域覆盖层主要为第四系全新统人工填土层、第四系全新统残坡积土,下伏基岩为泥盆系中统曲靖组。采用极限平衡法进行验算,验算工况包括正常工况、暴雨工况、地震工况,对未开挖及开挖情况下边坡稳定性进行对比,结果见表 7。由表 7 可知:暴雨工况下边坡可能发生局部失稳。边坡施工应避开雨季,并选择合理的施工方法,避免施工对高速公路造成不良影响。

表 7 边坡稳定性计算结果

工况	稳定性系数	
	现状(未开挖)	开挖
正常工况	1.909	1.849
暴雨工况	1.466	1.512
地震工况	1.697	1.712

4.2.2 互通立交排水对已运营高速公路的影响

互通立交施工期间,临时排水及拆除原排水沟会对已运营高速公路 A 产生影响。对原有道路衔接处进行施工时设置临时急流槽等进行排水,避免旧路面的水通过原急流槽流向改扩建路基造成地上排水侵蚀;在立交施工前提出排水注意事项。

4.2.3 施工保通评价

新增互通立交施工中,需在已运营高速公路 A 主线进行拓宽并线(渐变段)路基施工,按照早提示、强制减速通行的组织模式进行施工。施工保通方案中,对施工区采用逐级限速的方式,行车速度每 100 m 降低 15 km/h,满足要求。

根据调查结果,日常 15 min 高峰小时交通量为 965 pcu/h,当前车道数为双向四车道,施工期间最不利状态为占用硬路肩及半条车道,保通速度为 60 km/h,则负荷度 $V/C=0.66$,对应服务水平为三级,满足通行要求。但施工保通应尽量避开节假日,不可避免时,应提前做好交通疏导和交通管控。

4.3 运营后影响评价

(1) 诱增交通量对既有高速公路 A 主线服务水平的影响。高速公路 B 通车给高速公路 A 带来的交通量增长及服务水平见表 8。由表 8 可知:高速公路 A 主线 V/C 值有所提高,但服务水平仍在三级及以下,满足高速公路服务水平要求。

(2) 互通立交分合流区服务水平评价。对互通立交 3 与高速公路 A 搭接的匝道分合流区的服务水平依据 3.2.2 节方法进行评价,结果见表 9。由表 9 可知:2022 年高速公路 B 通车后,高速公路 A 分合流区服务水平最高的为 B 匝道合流区,为二级;2029 年高速公路 A 分合流区服务水平最低的为 B 匝道合流区,为四级。根据《公路路线设计规范》,高速公路分合流交织区设计服务水平可降低一级,新增互通后分合流区服务水平能满足规范要求。

5 结论

本文针对新建高速公路通过新增互通搭接既有高速公路的情况,从设计合规性、施工组织影响和运

表 8 运营高速公路 A 诱增交通量及服务水平评价

路段	年份	交通量年均 增长率 $\rho/\%$	匝道交通量/ ($\text{pcu} \cdot \text{d}^{-1}$)	主线交通量/($\text{pcu} \cdot \text{d}^{-1}$)		V/C 值		服务水平	
				未新增互通	新增互通	未新增互通	新增互通	未新增互通	新增互通
互通立交 1 至	2022	8.640	6 089	21 417	21 722	0.331	0.336	一级	一级
互通立交 3	2029	7.686	1 973	42 075	42 667	0.651	0.660	三级	三级
互通立交 3 至	2022	8.668	4 756	21 115	21 353	0.327	0.330	一级	一级
互通立交 2	2029	7.652	1 849	41 387	41 849	0.641	0.648	二级	二级

表 9 B 匝道合流区服务水平评价

预测 年份	年平均日交通 量/($\text{pcu} \cdot \text{d}^{-1}$)	设计小时交通 量/($\text{pcu} \cdot \text{d}^{-1}$)	匝道平均日交通 量/($\text{pcu} \cdot \text{d}^{-1}$)	匝道设计小时交通 量 Q_R /($\text{pcu} \cdot \text{d}^{-1}$)	$Q_{12\text{合}}/(\text{pcu} \cdot \text{d}^{-1})$	合流区车流密度/ [$\text{pcu} \cdot (\text{km} \cdot \text{ln})^{-1}$]	合流区服 务水平
2022	21 353	1 388	2 378	409	1 388	9.014	二级
2029	41 849	2 720	4 624	701	2 720	16.740	四级

营后交通影响方面对评价指标和评价方法进行分析,得出如下结论:

(1) 在设计合规性评价方面,需综合考虑新增互通立交与既有高速公路已有其他设施间距的合规性,接入点处既有高速公路的主线平纵线形、连接部、净高及交通工程的合规性及合理性。

(2) 在施工影响评价方面,需考虑结构施工、排水和施工保通影响,边坡、桥梁等施工时重点考虑不良天气、不良地质灾害等的影响;制定施工保通方案时,需考虑节假日交通量激增的情况。

(3) 在运营后交通影响评价方面,需综合评价新增高速公路搭接后诱增交通量对既有高速公路主线通行能力的影响。

(4) 本文提出的指标为通常可能遇到的风险指标,在实际评价中,应结合项目特征和复杂程度对指标进行增减,存在多路相交或净距不足的情况时,还需评价复合式互通中集散车道、辅助车道等设计的合规性及运行安全性。

参考文献:

- [1] 王国伟,顾士国,刘琳,等.油气输送管道水平定向钻下穿公路涉路工程技术评价研究[J].路基工程,2021(4):169-172.
- [2] 邓小钊.并行双顶管下穿高速公路桥梁安全性影响研究[J].公路与汽运,2021(3):135-139.
- [3] 姜涛.铁路上跨既有高速公路安全性评价研究[J].工程建设与设计,2019(19):91-93.
- [4] 杨永红,杨朝,唐祖德,等.改扩建市政道路穿越高速公路桥梁的涉路安全评价研究[J].公路,2023,68(3):

252-261.

- [5] 田兆丰.山区互通立交的视距检查方法[J].公路与汽运,2013(2):89-91.
- [6] 高昆红,于雷.九原复合式互通立交设计方案研究[J].公路与汽运,2022(5):91-93+102.
- [7] 张鹏,张鹏举,张明明.互通式立体交叉主线分岔区车辆换道长度研究[J].公路交通技术,2023,39(1):168-175.
- [8] 周辉,雷鸣,韩剑.复合式枢纽互通立交方案比选研究[J].公路与汽运,2022(4):106-110.
- [9] 刘海阔.新增路网节点形成复合式互通立交方案研究[J].科学技术创新,2022(20):149-152.
- [10] 王晓飞,郭凯,丁振中,等.广州市 G105 九佛互通复杂出入口辅道方案安全通行效率分析[J].公路,2021,66(5):205-209.
- [11] 覃家培.预应力混凝土变截面连续箱梁桥涉路现浇施工方案研究[J].西部交通科技,2022(4):126-129.
- [12] 孙延光.新建高速公路跨越既有公路的施工交通组织研究[J].运输经理世界,2021(21):68-70.
- [13] 吴晓明,孔繁盛,段丹军,等.基于可达性的高速公路改扩建工程诱增交通量研究[J].北方交通,2022(3):83-87+90.
- [14] 王宏元,钟小明,贾嘉,等.《公路项目安全性评价规范》释义手册[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2016.
- [15] National Research Council. Highway capacity manual 2010; HCM 2010, 5th ed[S]. Transportation Research Board, 2010.

收稿日期:2023-09-20