

互通立交出入口匝道与平交口的组合类型及理论间距

陈东升, 梁学荣, 袁英爽, 王世伟

(中国铁路设计集团有限公司, 天津市 300000)

摘要: 随着城镇化地区公路功能的不断拓展, 城镇化地区一级公路已然成为服务对象齐全、行车速度快、车速离散度大的矛盾集中凸显的公路。为提高城镇化地区一级公路的通行能力, 保障运行安全, 将一级公路互通立交出入口匝道与平交口按照入口匝道-出口道、出口匝道-出口道、入口匝道-进口道、出口匝道-进口道4种类型组合方式进行合理间距研究。研究内容主要为基于基础设施设置和驾驶行为的共同影响对研究对象进行理论距离计算, 分别提出了4种组合方式下的理论计算间距推荐值, 可为深入探究城镇化地区公路互通立交与平交口的间距提供参考。

关键词: 城镇化地区公路; 出入口匝道; 平交口; 组合类型; 理论间距

中图分类号: U412.35

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)07-0037-06

Combination Types and Theoretical Spacing between Interchange On-off Ramps and At-grade Intersections

CHEN Dongsheng, LIANG Xuerong, YUAN Yingshuang, WANG Shiwei

(China Railway Design Group Co., Ltd., Tianjin 300000, China)

Abstract: With the continuous expansion of the functions of highways in urbanized areas, the first-class highways in urbanized areas have become the ones where the contradictions of having a complete range of service targets, high driving speeds and large vehicle speed dispersion are prominently displayed. To enhance the traffic capacity of first-class highways in urbanized areas and ensure the operational safety, the interchange on-off ramps and the at-grade intersections of the first-class highways are studied for reasonable spacing according to four combination types such as on-ramp - exit, off-ramp - exit, on-ramp - entrance, and off-ramp - entrance. The main research content is to calculate the theoretical distance of the research object based on the combined influence of infrastructure settings and driving behaviors. The recommended values of theoretical calculation spacing for the four combination types are respectively proposed, which can provide a reference for deeply exploring the spacing between the interchanges and the at-grade intersections of highways in urbanized areas.

Keywords: highways in urbanized areas; on-off ramps; at-grade intersection; combination type; theoretical spacing

0 引言

2021年交通运输部发布的《城镇化地区公路工程技术标准》(JTG 2112—2021)规定了城镇化地区公路的主要设计技术指标,但在精细化设计方面依然存在很多亟待解决的问题。互通立交出入口匝道与平交口的设置间距要求就是其中一项需要解决的问题。互通立交出入口匝道与平交口的间距主要影响路段的通行效率和安全服务水平。

国外对于互通立交出入口匝道与平交口之间的距离研究起步较早,主要成果有:NCHRP的相关研究和报告、*Access Management Manual*、出入口规范手册成果以及一些设计标准等。其中 *Access Management Manual* 列出了有关出入口匝道衔接段的管理策略以及技术指导,建议出口匝道衔接段长度为230~800 m,但并没有给出长度计算的模型以及具体的取值标准^[1]。

国内对互通立交出入口匝道与平交口间距的研究成果较少,主要研究成果集中在出口匝道衔接段的交织区长度研究及交叉口车辆的排队长度研究。周商吾等^[2]提出交叉口的排队长度与道路通行能

收稿日期: 2024-11-08

作者简介: 陈东升(1982—),男,本科,高级工程师,从事道路设计、规划相关工作。

力、信号灯周期、车种、车流量等因素有关;陈小鸿等^[3]提出可以采用波动理论的方法来计算交叉口车辆排队长度;贾德生等^[4]采用车道换道理论及可接受间隙理论计算出了排队长度;刘忻梅等^[5]通过调查和分析交通数据,结合车辆排队长度和延误时间,提出了出口匝道衔接段合理长度的推荐值。

从国内外研究成果可以看出,现有对于互通立交出入口匝道与平交口间距的研究成果较少,且主要集中于快速路。随着城镇化地区公路功能的不断拓展,城镇化地区一级公路已然成为服务对象齐全、行车速度快、车速离散度大的矛盾集中凸显的公路,为提高城镇化地区一级公路的通行能力以及安全服务水平,有必要针对一级公路的互通立交出入口匝道与平交口的间距进行系统性研究。

1 互通立交出入口匝道与平交口组合分类

根据互通立交出入口匝道和平交口进出口道的分布,将出入口匝道与平交口的组合类型分为入口匝道-出口道、出口匝道-出口道、入口匝道-进口道、出口匝道-进口道4种类型。4种类型出入口如图1至图4所示。

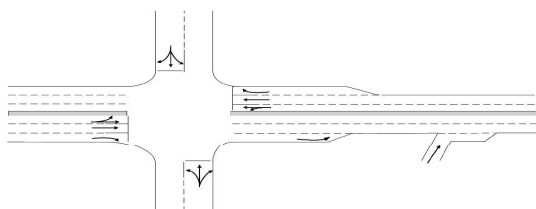


图1 入口匝道-出口道组合类型

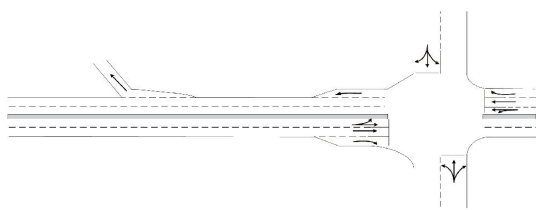


图2 出口匝道-出口道组合类型

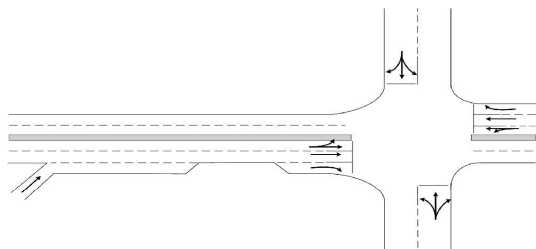


图3 入口匝道-进口道组合类型

2 出入口匝道与平交口的理论最小间距

出入口匝道至平交口的距离定义为匝道终点或匝道起点与平交口处停止线的行驶距离。

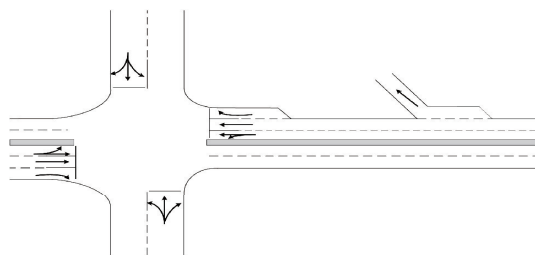


图4 出口匝道-进口道组合类型

在交通流量较小的情况下,车辆基本处于自由行驶的状态,车辆进出匝道不受周围车辆的影响,此时出入口匝道与平交口间距主要受驾驶员视认和操作距离的影响,可以采用车辆动力学的方法进行出入口匝道与平交口间距的计算。当交通流量逐渐增大时,车辆的换道和加减速会受到周边交通流的影响,出入口匝道与平交口的间距需求会进一步增长,所以在交通流量较小、驾驶行为不受周边车辆干扰时,出入口匝道与平交口的间距需求是最小的。本文计算的理论距离适用于城镇化地区一级公路处于二级及以下服务水平的情况,也是互通立交出入口匝道与平交口的最小间距。

2.1 入口匝道-出口道组合类型理论计算间距

图5所示为入口匝道-出口道组合类型交通流向示意图。平交口出口道与互通立交入口匝道之间的理论计算间距受基础设施设置和驾驶行为需求的共同影响。

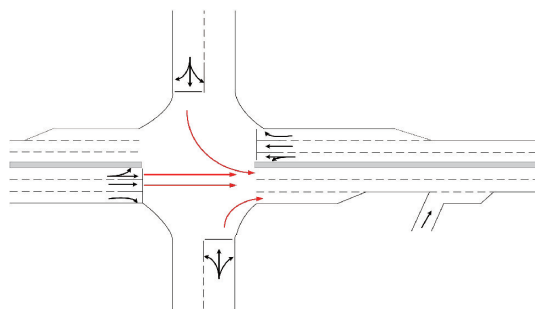


图5 入口匝道-出口道组合类型交通流向示意图

根据平交口出口道变速车道的设置和交通标志的设置需求确定平交口出口道至互通立交入口匝道的基础设施设置的理论间距。

《公路路线设计规范》(JTG D20—2017)^[6]第10.5.1条规定:主要公路设计速度大于或等于60 km/h时,应在主要公路上增设减速分流和加速汇流车道。一级公路的设计速度均大于或等于60 km/h,所以出口道处均应设置加速汇流车道。加速汇流车道的长度与初始速度有关,本文研究的被交路为设计速度40 km/h的三级公路,右转弯的设计速度取三级公路的设计速度40 km/h。加速汇流车道和渐变段的长

度取值见表 1。

表 1 一级公路右转变速车道长度取值表 单位:m			
设计速度/ (km·h ⁻¹)	出口道加速汇流 车道长度	渐变段长度	总长度
100	190	60	250
80	80	50	130
60	40	40	80

《道路交通标志和标线 第 5 部分:限制速度》(GB 5768.5—2017)^[7]第 6.2 条规定:在经过高速公路、作为干线的一级公路及城市快速路出入口和平面交叉口后,或其他需要提醒驾驶人的地方可重复设置限速标志。所以,为了告知被交路上驶入主路的驾驶员主路的限制速度,一般会在平面交叉口加速汇流车道的终点设置限速标志,以使汇流后的车辆能够满足限速的要求。《道路交通标志和标线第 2 部分:道路交通标志》(GB 5768.2—2022)^[8]第 7.39 条规定:注意合流警告标志设在主路合流点前适当位置。通过警告标志的设置位置可知,现行标准未对注意合流警告标志的设置位置进行强制要求。但是,注意合流警告标志不能与限速标志合并设置,否则会引起驾驶员的歧义,即驾驶员无法区分注意合流警告标志是用来警告加速车道合流车辆的,还是警告入口匝道汇流车辆的,所以限速标志与注意合流警告标志不进行合并设置,注意合流警告标志设于合流鼻点处。《公路交通标志和标线设置规范》(JTG D82—2009)^[9]第 2.3.2 条规定:交通标志之间应保持合理的间距,设计速度大于或等于 80 km/h 的公路交通标志之间的间隔不宜小于 60 m,其他公路交通标志之间的间隔不宜小于 30 m。

满足车辆驾驶行为需求的最长行驶距离可能包含 2 种情况:一是左转车辆的加速和标志视认;二是右转车辆的加速、换道和标志视认过程。车辆驾驶行为需求的最长行驶路径见图 6。分别计算两种情况的车辆驾驶行为需求长度,并选取二者的最大值作为驾驶行为的需要设置长度。

左转车辆的驾驶行为需求:驾驶员的加速行为需求按左转大型车的加速需求进行计算,初始速度按《公路路线设计规范》(JTG D20—2017)规定的最不利情况取 5 km/h,加速度 2.0 m/s²,则设计速度 100、80、60 km/h 对应的加速段长度分别为 192.4、123.0、69.0 m。

右转车辆的驾驶行为需求:右转车辆的初始速度为被交三级公路的设计速度 40 km/h,设计速度 100、80、60 km/h 对应的加速段长度分别为 162.0、

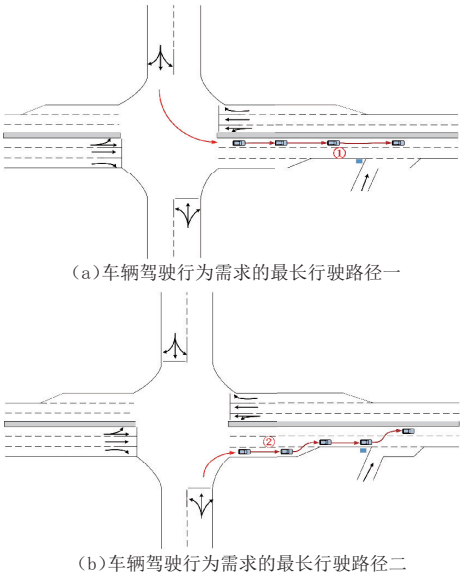


图 6 入口匝道-出口道组合类型理论间距计算示意图

92.6、38.6 m。车辆换道的横移速度取 1 m/s,车道宽度为 3.75 m 和 3.5 m,设计速度 100、80、60 km/h 对应的换道距离分别为 104.2、83.3、58.3 m。未考虑车辆等待间隙的原因是驾驶员在加速车道外侧会让行汇入的车辆,且本文考虑的是二级及以下服务水平自由流。所以,右转车辆加速和换道的距离和分别为 266.2、175.9、96.9 m,高于左转车辆的需求,因此按照右转车辆的需求计算总长度。

以驾驶员对注意合流警告标志的识读(标志阅读距离和消失距离)作为计算条件。标志的消失距离与支撑形式有关,注意合流警告标志采用单柱式支撑,标志下边缘距路面的高度一般为 150~250 cm,按照最不利情况即标志下边缘高度最低 150 cm 考虑。《道路交通标志和标线 第 2 部分:道路交通标志》(GB 5768.2—2022)要求注意合流警告标志为等边三角形。设计速度为 100 km/h 时,等边三角形的边长为 130 cm;设计速度为 80 km/h 时,等边三角形的边长为 110 cm;设计速度为 60 km/h 时,等边三角形的边长为 90 cm。标志的消失距离按下式计算。

$$L_{消} = d / \tan \theta$$

式中: d 为驾驶人的视高(一般取 1.2 m)到路侧标志顶点的高差; θ 为标志消失点与路侧标志或悬空标志的夹角,一般路侧标志的 θ 角为 15°。

根据上述理论计算出注意合流标志的视认距离,并考虑右转车辆加速和换道的距离。满足驾驶行为需求的入口匝道-出口道组合类型的间距见表 2。

综合考虑基础设施的设置和交通标志的设置需求,入口匝道-出口道组合类型的理论计算最小间距

表2 满足驾驶行为需求的距离					单位:m
设计速度/ (km·h ⁻¹)	阅读 距离	<i>d</i>	<i>L</i> _消	加速和换道 距离	驾驶行为需求 距离
100	97.2	3.8	14.2	266.2	437.6
80	77.8	3.6	13.4	175.9	327.1
60	58.3	3.4	12.7	96.9	197.9

见表3。因为驾驶行为的需求超过了基础设施的设置需求,所以长度取驾驶行为需求并向上取整。

表3 入口匝道-出口道组合类型的理论计算最小间距				单位:m
设计速度/ (km·h ⁻¹)	基础设施设置 需求间距	驾驶行为 需求间距	理论计算最小 间距	
100	310	437.6	440	
80	200	327.1	330	
60	110	197.9	200	

2.2 出口匝道-出口道组合类型的理论计算间距

平交口出口道与互通立交出口匝道起点之间的距离需要满足基础设施的设置要求和驾驶员的行为需求。图7为出口匝道-出口道的理论间距计算示意图。

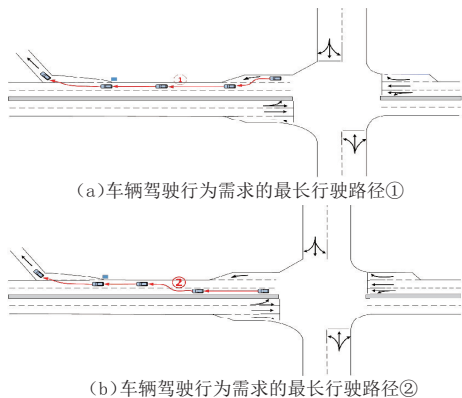


图7 出口匝道-出口道组合类型理论间距计算示意图

对于基础设施设置需求,平交口出口道至互通立交出口匝道起点间需要设置平交进口道加速汇流车道,长度见表1。出口匝道采用直接式出口,出口减速车道与渐变段长度之和见表4。对于互通立交出口匝道,《公路交通安全设施设计细则》(JTG/T D81—2017)^[10]第5.2.3条规定,互通立体交叉出入口处应设置导向箭头。设计速度100 km/h时,导向箭头长度为9 m;设计速度80 km/h和60 km/h时,导向箭头长度为6 m。重复设置次数均为3次。出口导向箭头应以减速车道渐变点为基准点,间距50 m。因此,要在减速车道起点前150 m范围内设置3次导向箭头。在平交口出口道加速汇流车道、匝道出口导向箭头和匝道变速车道长度设置方面,需要满足的总长度需求见表4。

平交口进口道处会设置限速标志,与入口匝道-

表4 出口匝道-出口道组合型式满足基础设施设置需求的最小长度					单位:m
设计速度/ (km·h ⁻¹)	出口道加速汇 流车道长度	导向箭头 长度	匝道变速车 道长度	总长度	
100	250	150	215	615	
80	140	150	190	480	
60	80	150	165	395	

出口道组合类型相同,限速标志设于匝道出口预告标志前,所以根据出口预告标志进行标志视认的计算。计算车辆完成驾驶行为需求的可能的最长行驶路径。

(1)情况1

驾驶员在平面交叉口出口道处的加速度取2.0 m/s²,右转车辆的速度由40 km/h加速至一级公路设计速度,并进行换道。根据本文第2.1节的计算结果,右转车辆加速和换道的距离之和分别为266.2、175.9、96.9 m。驾驶员视认出口确认标志过程中行驶的距离见表5。

表5 驾驶员视认出口确认标志的距离								单位:m
设计速度/ (km·h ⁻¹)	阅读 距离	决策 距离	字高	视高	消失 距离	行动 距离	总长 度	
100	97.2	69.4	0.6	8.6	31.9	187.5	354.1	
80	77.8	55.6	0.6	8.6	31.9	150.0	283.4	
60	58.3	41.7	0.5	8.0	29.9	108.3	208.3	

车辆行驶至出口匝道时,除标志视认外,还需要完成减速操作,加速度取值2.0 m/s²,减速至匝道的设计速度40 km/h,则设计速度100、80、60 km/h时的车辆减速的长度分别为162.0、92.6、38.6 m。综上所述,在情况1条件下计算出来的满足车辆驾驶行为需求的长度见表6。

表6 满足驾驶行为情况1需求的长度					单位:m
设计速度/ (km·h ⁻¹)	加速与第一次 换道长度	标志视认 长度	减速长度	总长度	
100	266.2	354.1	162.0	782.3	
80	175.9	283.4	92.6	551.9	
60	96.9	208.3	38.6	343.8	

(2)情况2

驾驶员的加速段速度由左转弯时的5 km/h加速行驶至相应的设计速度,100、80、60 km/h对应的加速段长度为192.4、123.0、69.0 m。驾驶员标志视认的长度和加速段长度相同,换道需要两次。情况2的总长度需求见表7。

经过对比,情况2对应的长度大于情况1,也超过了基础设施设置的长度需求,因此按照情况2进行理论长度的控制。根据最终计算的总长度:设计

表 7 满足驾驶行为情况 2 需求的长度					单位:m
设计速度/ ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	加速段 长度	标志视认 长度	第二次换道 长度	减速 长度	总长度
100	192.4	354.1	187.5	162.0	896.0
80	123.0	283.4	150.0	92.6	649.0
60	69.0	208.3	108.3	38.6	424.2

速度 60 km/h 时,匝道出口的预告标志会设于平交口进口道处;设计速度 80 km/h 及以上时,匝道出口的 500 m 预告标志会设于平交口出口道处,且能够让驾驶员进行标志信息的视认。

2.3 入口匝道-进口道组合类型理论计算间距

入口匝道-进口道组合类型的理论计算间距需要满足基础设施设置和驾驶行为的需求。驾驶行为需求最长行驶路径见图 8。

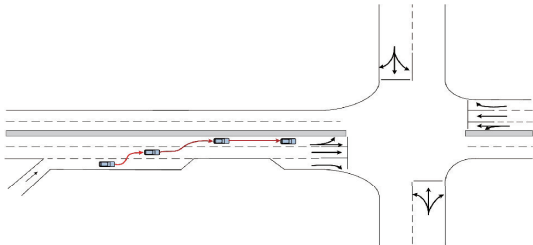


图 8 驾驶行为需求的最长行驶路径示意图

基础设施设置方面,入口匝道需要设置加速车道,类型为平行式,长度见表 4。平交口进口道需要设置附加车道、导向箭头和指路标志。

《公路路线设计规范》(JTG D20—2017)第 10.5 规定,右转弯附加车道为减速分流车道,应由渐变段、减速段组成。考虑到大车右转的速度偏低,因此右转附加车道减速段末的速度取 20 km/h。平交口进口道的右转弯附加车道长度见表 8。

表 8 右转弯附加车道长度的设置要求				单位:m
设计速度/ ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	渐变段 长度	减速段 长度	右转弯车道 长度	
100	60	95	155	
80	50	50	100	
60	40	30	70	

根据《道路交通标志和标线 第 2 部分:道路交通标志》(GB 5768.2—2022),可以将交叉口告知标志设于交叉口处,设于交叉口前时,可设于平交口停车线前 30~80 m。考虑最不利情况,选取 80 m 作为设置阈值。

按照《道路交通标志和标线 第 3 部分:道路交通标线》(GB 5768.3—2009)^[11]的规定,不同设计速度下导向箭头的设置距离见表 9。

综合入口匝道与平交口进口道的基础设施设置需求,满足基础设施设置需求的入口匝道-进口道组

表 9 设计导向箭头需求的距离			单位:m
设计速度/ ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	导向线长度	第二组与第三组 箭头间距	总长度
100	30	50	80
80	30	50	80
60	30	30	60

合型式的最小间距见表 10。

表 10 入口匝道-进口道组合满足基础设施设置需求的最小长度				单位:m
设计速度/ ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	入口匝道加速 车道长度	平面交叉附加 车道长度	总长度	
100	280	155	435	
80	250	100	350	
60	215	70	285	

满足驾驶行为需求的最长行驶路径是匝道驶入车辆行驶至直左车道,车辆需要完成由匝道车速 40 km/h 加速至主路车速 80 km/h 的加速过程、车辆由匝道驶入主路的换道过程和车辆由主路外侧车道驶入直左车道的换道过程、标志视认和决策过程、车辆由直行车速 80 km/h 减速至 20 km/h 的减速过程。车辆的运动参数取值与前文相同,车辆由匝道驶入直左车道的行为需求距离见表 11。

表 11 入口匝道-进口道组合型式满足驾驶行为需求的长度						单位:m
设计速度/ ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	加速段 长度	标志视认 长度	两次换道 长度	减速 长度	总长度	
100	162.0	166.6	375.0	185.2	888.8	
80	92.6	133.4	300.0	115.7	641.7	
60	38.6	100.0	216.6	61.7	416.9	

经对比,满足驾驶行为需求的长度要求更长,因此,采用根据驾驶行为计算的长度进行入口匝道-进口道组合类型的理论间距控制。

2.4 出口匝道-进口道组合类型理论计算间距

出口匝道-进口道组合类型的理论计算间距需要满足基础设施设置和驾驶行为的需求(见图 9)。

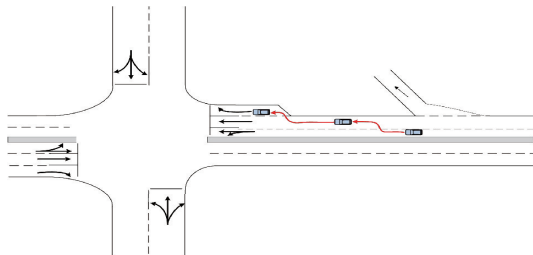


图 9 出口匝道-进口道组合类型理论间距计算示意图

基础设施设置方面,出口匝道的减速车道不在互通立交与平面交叉的距离内,所以仅须考虑平交口处的基础设施的设置。因此,平交口进口道基础

设施长度的设置同表8。

满足驾驶行为需求的最长行驶路径为车辆由最内侧车道驶入右转附加车道的路径,车辆驶入的过程包括标志的视认与决策过程、由内侧车道换道驶入外侧车道的行驶过程、车辆由外侧车道驶入右转车道的过程和减速行驶过程,车辆减速至40 km/h。出口匝道-进口道组合型式满足驾驶行为需求的长度见表12。

表12 出口匝道-进口道组合型式满足驾驶行为

需求的长度				单位:m
设计速度/ (km·h ⁻¹)	标志视认 长度	两次换道 长度	减速长度	总长度
100	166.6	375.0	162.0	703.6
80	133.4	300.0	92.6	526.0
60	100.0	216.6	38.6	355.2

经对比,满足驾驶行为需求的长度要求更长,因此,采用根据驾驶行为计算的长度进行出口匝道-进口道组合类型的理论间距控制。

2.5 理论最小间距总结

经过上述分析,在4种类型的出入口匝道与平交口间距的组合中,驾驶行为的需求长度均大于基础设施设置的需求长度,将所有的计算结果向上取整为5 m,结果见表13。表中的计算结果适用于被交路设计速度为40 km/h、匝道设计速度为40 km/h的一级公路。

3 结 语

本文根据出入口匝道与平交口的位置关系和交通流的流向,将出入口匝道与平交口的组合划分为

表13 出入口匝道与平交口间距的理论最小间距 单位:m

设计速度/ (km·h ⁻¹)	入口匝道- 出口道	出口匝道- 出口道	入口匝道- 进口道	出口匝道- 进口道
100	440	900	890	705
80	330	650	645	530
60	200	425	420	360

入口匝道-出口道、出口匝道-出口道、入口匝道-进口道、出口匝道-进口道4种类型,然后针对不同类型的出入口匝道与平交口组合型式,基于车辆运动学规律,计算出入口匝道与平交口的理论最小间距。计算总结的理论间距适用于城镇化地区一级公路(设计速度100、80、60 km/h)并处于二级及以下服务水平且被交路和匝道设计速度为40 km/h的情况,可为同行业工作者深入探究城镇化地区公路互通立交与平交口间距提供参考。

参考文献:

- [1] TRB. Access Management Manual[M]. Washington, D.C.: TRB, 2003.
- [2] 周商吾,陈小鸿.城市高架道路与地理道路衔接的研究[J].城市道桥与防洪,1996(4):15-18.
- [3] 陈小鸿,肖海峰.交织区交通特性的微观仿真研究[J].中国公路学报,2001,14(增刊1):88-91.
- [4] 贾德生,王涌,段俊亮.辅路平交口与快速路入口最小间距研究[J].市政技术,2016,34(2):24-27.
- [5] 刘忻梅,许有俊.快速路出口至前方灯控路口合理距离研究[J].交通信息与安全,2010,28(4):67-70.
- [6] JTG D20—2017,公路路线设计规范[S].
- [7] GB 5768.5—2017,道路交通标志和标线第5部分:限制速度[S].
- [8] GB 5768.2—2022,道路交通标志和标线第2部分:道路交通标志[S].
- [9] JTG D82—2009,公路交通标志和标线设置规范[S].
- [10] JTG/TD 81—2017,公路交通安全设施设计细则[S].
- [11] GB 5768.3—2009,道路交通标志和标线第3部分:道路交通标线[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: roadbridgeflood@163.com

