

# 高速公路出口匝道与地面道路衔接部的几何安全设计研究综述

赵海娟<sup>1</sup> 陆 键<sup>2</sup> 马永锋<sup>2</sup>

1. 武汉市城市规划设计研究院, 武汉 430014

2. 东南大学, 交通学院, 南京 21009

**摘 要:** 高速公路出口匝道与地面道路衔接部的几何安全设计是高速公路出口匝道几何安全设计的核心内容。本文通过分析国内外出口匝道与地面道路衔接部几何安全设计研究成果, 从衔接部的接入间距设计、视距设计、转弯缓冲区的设计、渠化设计和控制方式选择等方面进行了探讨, 指出了我国现行规范中衔接部几何安全设计的局限性。最后, 文章建议借鉴国外已有的衔接部几何安全设计的实践经验, 研究适合我国国情的衔接部几何安全设计方法, 为改善高速公路匝道出口区域内的交通通行效率和交通安全提供必要的理论支撑和技术依据。

**关键词:** 高速公路; 出口匝道衔接部; 几何安全设计; 交汇道路

中图分类号: U412

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747(2010)02-0048-08

## Overview of the Geometric Design Research on the Off Ramp and Street Junction on Freeway Considering Safety

ZHAO Hai-juan<sup>1</sup> LU Jian<sup>2</sup> MA Yong-feng<sup>2</sup>

1. Wuhan Planning and Design Institute, Wuhan 430014, China

2. School of Transportation, Southeast University,

Nanjing 210096, China

**Abstract:** Geometric design of freeway off ramp-street junction is a very important part

收稿日期: 2009-07-01.

基金项目: 国家自然科学基金项目(50778040)。

作者简介: 赵海娟(1984-), 女, 山东人, 硕士, 武汉城市规划设计研究院助理工程师, 主要研究方向为: 交通安全、智能交通。

in freeway off ramp geometric design. The latest research on it was analyzed from the following aspects: terminal access spacing, sight-distance design, left-turn and right-turn design, channelization design and the traffic control selection. According to the insufficiency of the existed regulation in China and the relative successful practice abroad, we thought that proper geometric design methods of it could provide technology and theoretical support for the junction's safety and capacity improvement.

**Key words:** Freeway, off ramp-street junction, geometric safety design, merging roads

## 0 引言

高速公路出口匝道与地面道路衔接部是指出口匝道接入地面道路所形成的平面交叉口,它可以看作是特殊的平面交叉口,与普通平面交叉口既有共性又有差异。共性在于某些几何安全设计考虑的因素和所采用的方法大致相同,但是,由于交通流特性的差异和驾驶行为的不同,二者几何安全设计的参数和侧重点又有所差异,因此,为了与普通的平面交叉口相互区分开来,在本文研究中称之为衔接部。

高速公路出口匝道与地面道路衔接部是高速公路出口匝道下游段中的一个重要节点,其几何设计的合理与否直接影响到高速公路出口区域范围内的道路整体效益的发挥和交通的安全状况,不合理的几何设计会导致匝道出口交通流的延误和交通冲突的增加。事实上,在我国高速公路现实运营中,出口匝道与地面道路衔接部的几何设计是一个较为薄弱的环节,交通流“溢出”的现象时有发生,是交通事故频发的区域之一。这也是导致高速公路出口匝道出现拥堵的主要原因之一,尤其是在城郊结合地区的高速公路或城市快速路上,这些现象更为突出。因此,有必要对高速公路的出口匝道与地面道路衔接部的几何安全设计进行研究,寻找合理的设计方法,为改善高速公路匝道出口区域内的交通流通行效率和交通安全提供必要的理论支撑和技术依据。

目前,在国内外的相关研究中,公路平交路口和公路支路接入口都已有相当全面的研究<sup>[1]</sup>,同时,高速公路入口匝道的几何设计和交通控制历来受到高度重视,对此国内外开展了相当广泛而深入的研

究<sup>[2]-[7]</sup>。与此相反,无论是国内还是国外,很少开展过针对高速公路出口匝道交通流效率和交通安全性能的研究。鉴于此,本文依托于国家自然科学基金项目《高速公路出口匝道几何特征和控制方式对交通安全和通行效率的影响研究》,就研究所关注的重点,从衔接部的接入间距设计、视距设计、转弯缓冲区的设计、渠化设计和控制方式选择等几何设计方面对与高速公路出口匝道与地面道路衔接部的几何安全设计相关的国内外现有的标准规范及研究现状进行了总结,旨在为后续的项目研究提供研究思路和重点。

## 1 衔接部几何安全设计的国外研究现状分析

国外高速公路起步较早,各个国家都颁布了相应的标准规范以完善高速公路的规划与设计,其中美国最为典型,本文以美国为例对其出口匝道与地面道路衔接部的研究现状进行分析。

### 1.1 衔接部接入间距研究

衔接部接入间距是出口匝道设计中的重要指标,它不仅会影响出口匝道和地面衔接道路的通行效率,而且对二者的交通安全也会产生非常显著的影响。就美国现有研究成果来看,衔接部的接入间距的研究受到了足够的重视,相应的标准规范中都从交通安全的角度给出了衔接部最小接入间距的标准,但是,在制定接入间距的标准时对交通运营效率和驾驶员的行为特征考虑较少。

美国国家公路合作研究计划项目研究报告

NCHRP Report 420《IMPACTS OF ACCESS MANAGEMENT TECHNIQUES》把出口匝道与地面道路的衔接部划分为信号控制衔接部和无信号控制衔接部，将下游交叉口分为三类，即：一般信控路口、一般非信控路口和禁左的非信控路口。认为从匝道落地点到这三

类路口的距离应有所不同，并给出了各自的最小间距<sup>[8]</sup>。该研究认为若衔接部和下游交叉口均为信号控制时，则此间距标准应满足信号交叉口间距标准，并给出了无信号控制衔接部的接入间距计算示意图，如图1所示。

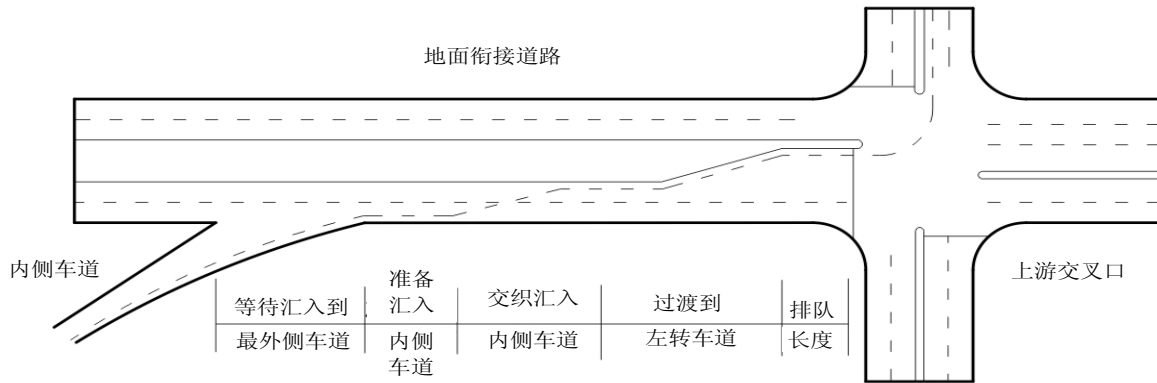


图1 无信号控制衔接部与下游交叉口接入间距计算示意

Fig.1 Calculation of the access distance between the joint part and the adjacent junction

美国 AASHTO 出版的《A Policy on Geometric Design of Highways and Streets》<sup>[9]</sup>（以下简称绿皮书）与 NCHRP Report 420 的研究有着类似的结果，认为在立交匝道不设收费站、不控制出入的情况下，衔接部距离下游交叉口前停车线的距离可以划分为上述所示的五部分。另外对于有信号或者标志控制出入的衔接部，计算其距离下游交叉口的距离时还需要考虑给予预告标志以充分的视认、反应距离。

同时，为解决立交与地面道路接入间距的问题，美国《接入管理技术手册》<sup>[10]</sup>（Access Management Manual）及各州的《接入管理手册》等相关设计规范中提出了一组相关技术，如土地利用规划、制定立交匝道落地点与临近交叉口最小间距标准、保证转角净空、通过服务性道路改善建筑物出入口布局等。在如何解决匝道落地点与地面路网相匹配时，该手册认为首先要保证匝道落地点到临近交叉口的最短距离，确保车辆尽可能地完成交织，并引用了 NCHRP Report 420 中的研究成果给出了匝道落地点与下游交叉口的最小间距的标准。

NCHRP SYNTHESIS 332 《Access Management on Crossroads in the Vicinity of Interchanges》<sup>[11]</sup>通过大量的实例分析，提出通过纯数学计算得到的接入间距数值仍然是不太切实际的，并建议在制定接入间距时应综合考虑多种因素。

### 1.2 衔接部视距设计

衔接部的视距设计对衔接部行车安全至关重要，也是衔接部几何安全设计的重要内容。美国的《绿皮书》和《公路设计手册》均认为出口匝道与地面道路衔接部的设计主要采用普通平交口的设计标准，两者的主要区别在于出口匝道为单向交通且主要是转弯交通量，并指出衔接部的视距设计应满足普通平面交叉口视距的要求。美国相应的平面交叉口几何设计规范指出不同控制类型的交叉口应根据其具体的交通特征计算出安全视距的大小，若有些类型交叉口安全视距大于停车视距，则建议以安全视距作为新的交叉口视距标准；若安全视距小于停车视距，建议尽可能以停车视距作为视距标准，

只有当停车视距不能得到满足时,才应以安全视距作为视距的极限标准。

### 1.3 衔接部转弯缓冲区设计

由于美国相关的规范<sup>[8]-[11]</sup>把衔接部视为普通的平面交叉口,这些规范中并没有衔接部的转弯车道的设计条款,不过国外的设计指南对交叉口左右转弯车道的设计有比较全面和明确的要求,无论设置条件还是设计参数都有详细的分类和要求,而且计算中考虑了交通安全的因素。2007年美国联邦交通厅批准了由南佛罗里达大学提出的对高速公路出口匝道进行研究的研究项目,并由南佛罗里达大学的陆键教授领导该研究项目,这在美国是首次较为全面地对高速公路出口匝道进行交通流分析和交通安全方面的分析的研究课题。该研究课题的重点是针对给定的交通条件和土地利用条件确认哪种类型的出口匝道更安全或交通效率更高,其中就包括了衔接部加速车道的长度和设置的研究。

### 1.4 衔接部渠化设计

对衔接部而言,国外相关的规范<sup>[8]-[11]</sup>中只是提到一些原则性的说明,如在行人流量较大的衔接部应设置人行横道等,并无具体的衔接部渠化设计条款,且指出衔接部的渠化设计应参考转弯道路平面交叉口的渠化设计方法。平面交叉口的渠化设计在国外已经形成了一套完善的理论体系,包括中央分隔带的开口形式、分隔岛的布设、分流岛的布置、平面交叉口的交通流导入方式、平面交叉口标线的布设以及弱势群体的安全保护措施等。

### 1.5 衔接部控制方式选择

国际上有一种流行的观点,认为出口匝道控制总是与高速公路的有效安全运行相悖,所以,美国相应的规范中入口匝道的控制方式选择的条款较多,且在现实状况中大部分衔接部均为无信号控制。《绿皮书》认为对出口匝道相衔接道路的下游出入口控制的程度取决于立交所联系干道的类型和重要程度,此外,预期的未来土地利用状况也是一个决定性的影响因

素<sup>[9]</sup>,其他相应的标准规范<sup>[10]</sup>认为衔接部的控制方式可以参照普通平面交叉口的控制方法进行设计。美国的《统一交通控制设施细则》制定了平面交叉口较为详细的信号设置依据,主要的指标有:主、次道路上最小车流量、中断主要道路连续车流的最小车流量、最小行人流量、交通事故数等,且经过不断的研究和实际应用的检验,信号灯的设置依据不断得到调整和完善<sup>[12]</sup>。2006年美国德克萨斯农机大学(Texas A & M University)完成了一项与高速公路出口匝道有关的研究,该研究采用交通流仿真模型对匝道下游段的交通流进行仿真分析,研究匝道下游段道路平交路口交通控制方式的变化对出口匝道交通流性能的影响,从而提出针对特定的出口匝道交通流的特点的合理的交通控制方式。

## 2 衔接部几何安全设计的国内研究现状分析

目前我国关于高速公路出口匝道设计的依据主要有两类:一类是有关线形和几何设计的,包括行业标准《公路工程技术标准》(JTGB01-2003)<sup>[13]</sup>、《公路路线设计规范》(JTGD-2006)<sup>[14]</sup>、《城市道路设计规范》(CJJ37-90)<sup>[15]</sup>;另一类是交通控制设计,包括国标《道路交通标志和标线》(GB5768-1999)<sup>[16]</sup>、《道路交通信号灯安装规范》(GB14886-94)<sup>[17]</sup>。这些规范几乎没有涉及衔接部几何安全设计的内容,虽有一些条款和标准考虑到互通式立体交叉中的平面交叉的几何安全设计,但也仅仅作了原则性的说明,对实际应用条件并未具体和细化。对国内的研究而言,国内历来比较重视高速公路主线和入口匝道的研究及快速路出口匝道的研究,高速公路出口匝道的研究方面主要侧重于出口匝道上游段通行能力和加减速车道的研究及中游段匝道线形设计的选择,而匝道下游段——衔接部的几何安全设计的研究长期处于一种未受重视的状态,在国内的专业文献中鲜有报导。鉴于国内在快速路的研究中已经涉及了大量的出口匝道相关内容,其研究成果对高速公路出口匝道下

游段的研究具有一定的借鉴意义,因此,本部分就所关注的重点,分析的内容同时涵盖了快速路出口匝道与地面道路衔接部的研究,分析结果在下方叙述。

### 2.1 衔接部接入间距研究

国内相应的规范对高速公路的互通式立交及相邻匝道的间距给出了定量和定性的说明,但是,并没有涉及到衔接部的接入间距的内容。其中《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)及相应的条文说明对互通式立交的间距进行了定量的说明,并指出互通式立体交叉与服务区、停车区、公共汽车停靠站、隧道等其他重要设施之间的距离应能满足设置出口预告标志的需要<sup>[13]</sup>;《公路路线设计规范》(JTG D20—2006)对上述提到的《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)中的条款进行了细化,并提出了高速公路相邻出、入口的最小间距值<sup>[14]</sup>;《城市道路设计规范》(CJJ 37—90)给出了城市道路中的两个互通式立体交叉的最小净距标准,并给出了四种组合形式下的立体交叉范围内相邻匝道口之间的最小净距<sup>[15]</sup>。

对目前国内的研究而言,我国主要侧重于城市快速路匝道出口与前方信号交叉口的接入间距研究,其中上海同济大学最为典型。龙科军、杨晓光认为为保证快速路下匝道前方交叉口的畅通,匝道出口距离前方交叉口的距离应至少大于排队长度和交织距离之和<sup>[18]</sup>;陈恺、张宁、黄卫在出入口管理技术改善立交与地面道路的交通衔接一文中提到了高速公路立交匝道布局目前存在的问题,并借鉴国外的研究成果给出了改善对策<sup>[19]</sup>。

### 2.2 衔接部视距设计

《公路路线设计规范》(JTG D20—2006)中指出互通式立体交叉区域应具有良好的通视条件,并给出了主线分流鼻端之前判断出口所需的识别视距和匝道的停车视距<sup>[14]</sup>;《城市道路设计规范》(CJJ 37—90)中相应的条款规定立体交叉范围内的视距除应符合道路平面、纵断面的停车视距规定外,尚应对不设集散车道的立体交叉匝道出入口处平面及竖向视距进行验算,并应避免立体交叉桥的篮板遮挡住驾

驶员视线<sup>[15]</sup>。我国目前对高速公路行车视距研究较为零散,往往只局限于高速公路路段行车视距与安全的研究,对出口匝道的视距研究较少。其中刘运通指出单向单车道匝道主要满足停车视距,单向双车道匝道,一般分快慢车道行驶,可不考虑超车视距要求;双向双车道匝道,一般设中间隔离设施,也不会存在超车和会车问题,所以,匝道全长应满足停车视距要求<sup>[20]</sup>。

### 2.3 衔接部转弯缓冲区设计

我国目前标准规范中还没有相关衔接部的转弯车道设计的条款。我国的《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)和《公路路线设计规范》(JTG D20—2006)对交叉口转弯车道的设计有所规定,但是,相关规定描述较为模糊,或者只有定性的说明,或者有定量的说明但不明确,这些缺点导致实际设计的差异较大,未能很好地起到规范的作用。国内目前还未专门对衔接部的转弯车道进行研究,研究的重点在于城市道路交叉口的转弯车道的设计。朱晓兵通过分析交叉口右转车辆行驶特征,提出运用线形法进行城市交叉口右转车道的几何设计<sup>[21]</sup>;白玉琼等从交通工程设计和交通安全的角度探讨了平面交叉口左转弯交通组织方式和左转弯车道的设计问题<sup>[22]</sup>;我国交通部在2004年开展了公路平交路口安全设计的研究,其中从左转专用车道、左转减速车道、左转加速车道、左转偏置车道、右转专用车道、右转减速车道、右转加速车道和右转偏置车道对平面交叉口转弯车道进行了详细的设计<sup>[1]</sup>,这些都为衔接部转弯车道的设计提供了一定的参考。

### 2.4 衔接部渠化设计

目前,我国高速公路出口匝道设置主要依据《公路路线设计规范》(JTG D20—2006),其对互通式立体交叉中的平面交叉作了原则性的说明,相关的条款主要有:互通式立体交叉连接线与被交公路间的平面交叉应作渠化设计,菱形、部分苜蓿叶形互通式立体交叉中的平面交叉的渠化方式如图2所示;匝道或互通式立体交叉的连接线与既有公路平面交叉时,应按规定对交叉及其引道范围内的既有公路的平纵线形、增辟转弯车道和分割岛等予以改建;菱形和部分苜蓿

叶形互通式立体交叉的匝道端部的两个平面交叉宜相互通视,其间有凸形竖曲线时,该竖曲线的半径应足够大,至少在竖曲线顶点前 30m 处能使驾驶者看到前方的平面交叉,并保证停车视距;在菱形和 B 型部分苜蓿叶形互通式立体交叉中和匝道端部的两个平面交叉间,应有容纳两个左转弯车道的距离;匝道端部或互通式立体交叉连接线与被沟通公路间的

平脚范围内,以及菱形和部分苜蓿叶形匝道端部的两个平面交叉间的路段上,不宜设置人行横道;在平面交叉引道和上述两平面交叉间的路段内,应设置行人和非机动车的专用车道,并妥善作好其穿越上述平面交叉的渠化设计。若被交公路的一般路段的非机动车车道宽度大于 2.50m 时,则设于附加车道或标线分隔带的路段内,非机动车道可缩减至 1.50~2.00m<sup>[14]</sup>。

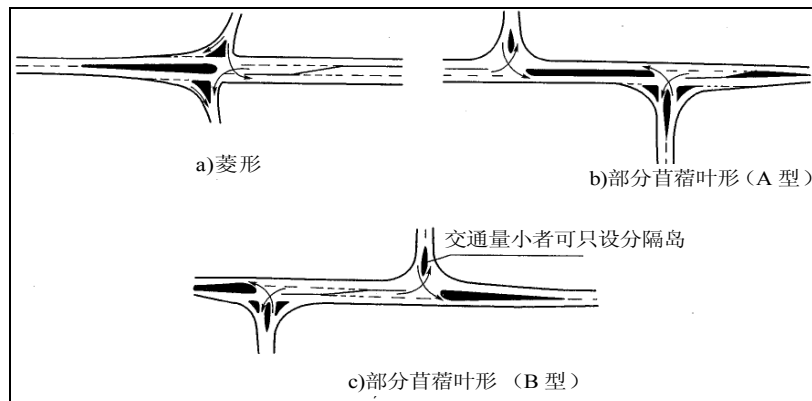


图 2 匝道端部平面交叉的渠化设计

Fig. 2 Channelization design of an off ramp-crossroad junction

目前,在对高速公路互通式立交附属平交口的渠化设计还未得到足够重视,国内关于衔接部的渠化设计相关研究是根据实际高速公路工作经验而获得的,还没有形成完善的理论体系。张为给出了衔接道路为双车道和四车道情况下互通式立交 T 形平交口的渠化设计方法<sup>[23]</sup>;时占君给出了不同交通流状态下的互通式立交 T 形平交口的渠化设计方法等<sup>[24]</sup>。由于这些研究是根据实际工作经验获得的,有一定的参考价值,但是,由于缺乏相应的应用条件和具体的设计参数,在实际中应用仍具有一定的局限性。

## 2.5 衔接部控制方式选择

《道路交通信号灯安装规范》(GB14886—1994)中与高速公路出口匝道设计相关的条款主要体现在出口预告标志、出口标志和地点标志的设置距离方面,并没有对出口匝道衔接部的标志设计相关条款。目前,国内关于出口匝道交通控制研究的

较少,且主要侧重于高速公路出口匝道下游交叉口的控制研究,如陈德望用交通仿真证明出口匝道下游交叉口采用感应控制能很好的解决出口匝道下游段的排队现象<sup>[25]</sup>;此外,国内对快速路下游交叉口交通控制方法研究较多,如杨晓光以城市快速道路交通动态控制方法和考虑进出口匝道排队约束的准动态控制手法以及线性规划理论为基础,提出具有一般性的城市快速道路流入交通动态控制法,探讨各约束条件对控制解的影响,并对所提出的控制模型的有效性和基本性质加以分析<sup>[26]</sup>;李爽爽通过分析出口匝道排队的原因,提出了出口匝道的控制方法,并给出了出口匝道辅路控制参数<sup>[27]</sup>。由于这些研究较为零散,局限于解决单一问题,有的出口匝道交通控制研究的算法目前仍停留在理论研究阶段,实际应用中仍存在一定的困难。

## 2.6 衔接部国内外研究现状总结

从上述国外标准、规范相关条款可看出,国外标

准规范对高速公路出口匝道与地面道路衔接部接入间距的研究相当重视,已经形成了完善的标准且已有了多年的实际应用实践,但是,其中与衔接部的几何安全设计相关的条款很少,且把衔接部看作是一般的平面交叉,并认为其几何设计可以采用普通平面交叉口的设计标准;目前,国外开始重视出口匝道安全设计和通行效率的研究,但是,其研究重点在于出口匝道衔接道路下游交叉口的控制方式和渠化设计。虽然国外的这些研究不具有普遍性,但研究思路是值得借鉴的。我国标准、规范中涉及高速公路出口匝道与地面道路衔接部的几何安全设计的内容非常有限,大多停留在基本设计原则上,其主要原因在于制定标准、规范时缺乏足够的理论支撑。目前,我国对高速公路出口匝道交通安全的研究相对较少,国内已有的对高速公路出口匝道的研究停留在宏观层面理论,至今还没有形成系统而完整的理论体系。进入上世纪90年代以来,北京工业大学、同济大学、东南大学、吉林工业大学、上海大学等高校陆续对高速公路匝道的加减速车道、通行能力,城市快速路匝道交通流特性分析、定位和地面衔接交通改善等方面进行了研究,但研究的重点在于高速公路入口匝道的通行能力和城市快速路匝道方面,并没从交通安全和通行效率方面对高速公路出口匝道与地面道路衔接部的相关设计进行研究。

#### 参考文献

[1] 陆 键, 项乔君, 张国强等. 公路平交路口交通安全技术研究[R]. 东南大学, 2007.

[2] Piotrowicz G., and Robinson J.R. Ramp metering status in North America, Report DOT-T-95-17[R]. Washington, D.C.: FHWA, U.S. Department of Transportation, 1995.

[3] Blumentritt C.W., et al. Guidelines for selection of ramp control systems, NCHRP Report 232[R]. Washington, D.C.: National Academy Press, 1981.

[4] Smaragdis E., Papageorgiou M. A series of new local ramp metering strategies. Presented at the 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 2003.

### 3 结论及展望

综观国内外研究现状与动态可以看出,国内外相应的标准规范和相关研究均认为高速公路出口匝道与地面道路衔接部的几何安全设计可以采用普通平面交叉口的设计标准,从而导致了衔接部几何安全设计的研究长期处于一种未受重视的状态,并且研究较为零散,往往只局限于解决单一问题,而基于交通安全性能和通行效率考虑的高速公路出口匝道与地面道路衔接部的几何安全设计的研究处于空白状态。由于国内高速公路相关设计规范在衔接部研究方面缺乏必要的且经得起检验的技术和理论依据,有些设计参数在实践中已证明是不合理的,在长期的高速公路实际运营中已发现出口匝道的部分设计对高速公路的交通流效率和交通安全是有显著影响的,如果合理地改善现有的出口匝道的设置和交通控制,确实对提高高速公路的交通效率和交通安全起到良好的效果。针对目前国内匝道出口交通拥堵和交通安全问题严重的现象,本部分研究将以安全为着眼点,以接入管理技术为理论依据,从衔接部的交通流特性分析,衔接部的类型划分、功能区的界定,衔接部的平面线形设计、视距设计、渠化设计、转弯车道设计等方面对国内高速公路出口匝道与地面道路衔接部的几何安全设计进行研究,旨在为高速公路出口匝道设计提供理论依据。

[5] 张 媛. 高速公路入口匝道控制的研究[D]. 西安: 长安大学, 2005.

[6] 谭满春. 面向 ITS 的高速公路网交通分配与入口匝道控制方法研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2000.

[7] 李 嘉, 方 霞. 高速公路出入口设计与安全性研究[J]. 中南公路工程, 2003, 28(2): 31-34.

[8] Gluck J., Levinson H. S., and Stover.V. NCHRP Report 420: Impacts of access management techniques[R]. Washington, D. C.: Transportation Research Board, 1999.

[9] American Association of State Highway and Transportation Officials. A policy on geometric

- design of highways and streets [M]. Washington, D.C.: AASHTO, 2004.
- [10] Committee on Access Management. Access management manual [M]. Washington, D.C. : Transportation Research Board, 2003.
- [11] MarcA Butorac, Jerilyn CWen. NCHRP synthesis332: Access management on crossroads in the vicinity of interchanges [R] .Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2004.
- [12] Federal Highway Administration (FHWA). Manual on uniform traffic control devices for street and highways[M]. Washington, D.C. : Department of Transportation, U.S., 2003.
- [13] 交通部. 公路工程技术标准 (JTJ B01-2003) [S]. 北京: 交通人民出版社, 2003.
- [14] 交通部. 公路路线设计规范 (JTJ D20-2006) [S]. 北京: 交通人民出版社, 2003.
- [15] 建设部. 城市道路设计规范 (CJJ37-1990) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [16] 中华人民共和国国家标准. 道路交通标志和标线 (GB 5768-1999) [S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [17] 中华人民共和国国家标准. 道路交通信号灯安装规范(GB14886-1994) [S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [18] 龙科军, 杨晓光. 城市高架道路出口匝道路边型接地纵向位置研究[J]. 交通与计算机, 2004, 22 (5): 3-5.
- [19] 陈 恺, 张 宁, 黄 卫. 出入口管理技术改善立交与地面道路的交通衔接[J]. 公路, 2006, 10: 111-115.
- [20] 刘运通. 道路交通安全指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [21] 朱晓兵. 城市道路平面交叉口右转车道设计新法 [J]. 重庆交通学院学报, 1996, 15(5): 122-125.
- [22] 白玉琼, 章洪庆, 黄 俊. 平面交叉口左转交通组织方式的探讨[J]. 上海公路, 2003, (04).
- [23] 张 为. 互通式立交 T 型平交口渠化设计[J]. 辽宁交通科技, 2005, (03).
- [24] 时占君. 互通式立交 T 型平交口渠化设计[J]. 河南科技, 2005, (04).
- [25] 陈德望. 高速公路出口匝道排队现象分析及其对策 [A]. 现代化道路交通管理发展与展望——第八届多国城市交通学术会议论文集[C], 2003: 387-394.
- [26] 杨晓光. 考虑进出口匝道排队约束的城市快速道路交通系统动态控制方法[J]. 西安公路交通大学学报, 1999, 19 (2): 20-26.
- [27] 李爽爽. 城市快速路出口匝道辅路控制参数优化方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007.

(中文编辑: 吴继屏)